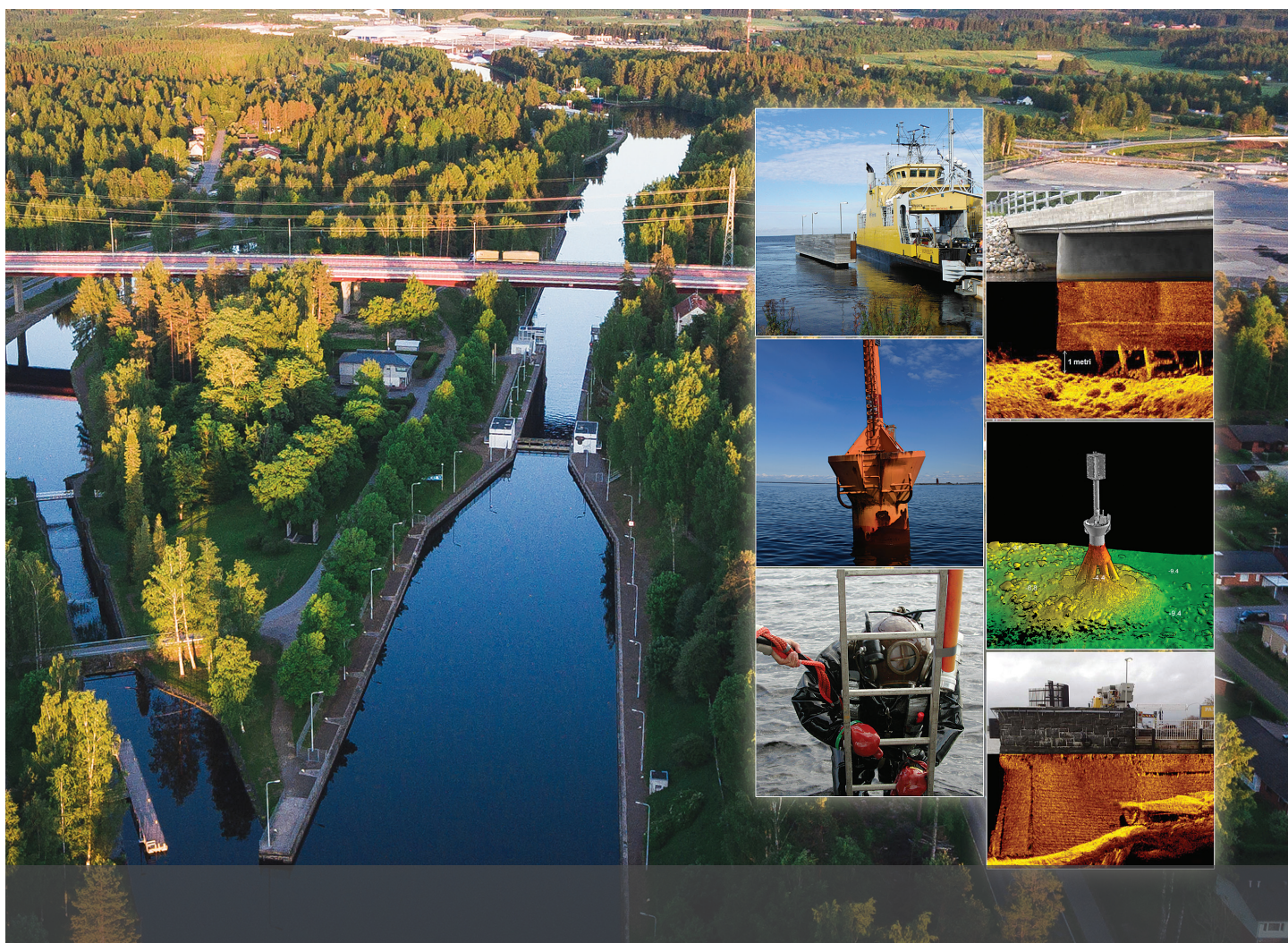


## Vedenalaisten taitorakenteiden tarkastusohje





# Vedenalaisten taitorakenteiden tarkastusohje

Liikenneviraston ohjeita 26/2016

*Kannen kuvat: Liikennevirasto ja pikkukuvat WSP Finland Oy ja VRT Finland Oy*

Verkojulkaisu pdf ([www.liikennevirasto.fi](http://www.liikennevirasto.fi))

ISSN-L 1798-663X

ISSN 1798-6648

ISBN 978-952-317-293-7

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 0295 34 3000



Kunnossapitotoimiala KTO, Väylätekniikkaosasto

Kohdistuvuus  
Liikennevirasto, ELY-keskukset

Voimassa  
16.12.2016 alkaen toistaiseksi

Korvaa  
Siltojen sukellustarkastusohje, TIEH 2200025-09

Asiasanat  
Taitorakenne, sillat, tarkastus, sukellus, vedenalainen, ohjeet

## Vedenalaisten taitorakenteiden tarkastusohje

### Liikenneviraston ohjeita 26/2016

Liikennevirasto on hyväksynyt tämän ohjeen käytettäväksi vedenalaisten taitorakenteiden tarkastuksissa osana taitorakenteiden muuta ohjeistoa. Ohjetta käytetään valmisteltaessa ja suoritettaessa vedenalaisia tarkastuksia ja kartoituksia.

Tekninen johtaja

Markku Nummelin

Silta-asiantuntija

Matti Piispanen

*Ohje hyväksytään sähköisellä allekirjoituksella.*

*Merkintä sähköisestä allekirjoituksesta on viimeisellä sivulla.*

LISÄTIETOJA  
Matti Piispanen  
Liikennevirasto  
puh. 0295 34 3587

## Esipuhe

Tämä ohje korvaa aikaisemman Tiehallinnon ohjeen "Siltojen sukellustarkastusohje TIEH 2200025-09".

Ohjetta on päivitetty ajan tasalle ja laajennettu kattamaan myös muut Liikenneviraston hallinnoimat vedenalaiset taitorakenteet. Ohje kattaa sukellustarkastuksen lisäksi myös uudet vedenalaiset tarkastusmenetelmät. Ohjeessa on uutena asiana esitetty ajatus tiettyjen vedenalaisten rakenteiden säännöllisistä tarkastuksista.

Ohjetta käytetään osana muuta taitorakenteiden tarkastusohjeistoa ja sen pääkäyttöalue on vedenalaisten taitorakenteiden erikoistarkastukset ja yleistarkastukset. Ohje kattaa tarkastusten ohjelmoinnin, suorittamisen ja dokumentoinnin.

Ohjetta voi soveltaa myös muiden hallinnoimien vedenalaisten rakenteiden tarkastuksiin.

Ohjeen ovat työstäneet Simo Kettunen WSP Finland Oy:stä, Olli Auer VRT Finland Oy:stä ja Kari Pohjola Meritaito Oy:stä. Työtä ovat ohjanneet Matti Piispanen (pj), Marja-Kaarina Söderqvist ja Pekka Siitonen Liikennevirastosta sekä Ari Salo Varsinais-Suomen ELY-keskuksesta.

Helsingissä joulukuussa 2016

Liikennevirasto  
Kunnossapitotoimiala  
Väylätekniikkaosasto/Taitorakenneyksikkö

## Sisällysluettelo

1	JOHDANTO .....	7
2	VEDENALAISET TAITORAKENTEET .....	8
2.1	Sillat .....	8
2.1.1	Välituet .....	8
2.1.2	Paalut .....	9
2.1.3	Holvi- ja kaarisiltojen kantamuurit .....	10
2.1.4	Päätytuet .....	11
2.1.5	Eroosiosuojaukset .....	12
2.1.6	Putkisillat .....	12
2.2	Kanavarakenteet .....	13
2.2.1	Sulut .....	13
2.2.2	Sulkurakenteet .....	14
2.2.3	Padot, turvapadot ja lapot .....	15
2.2.4	Avokanavat ja rakennettu maaluiska .....	17
2.2.5	Eroosiosuojaukset .....	18
2.3	Laiturit, lauttapaikat ja rantarakenteet .....	19
2.3.1	Massiivilaiturit .....	20
2.3.2	Ponttilaituri .....	21
2.3.3	Paalu- ja pilarilaituri .....	22
2.3.4	Tihtaalit .....	22
2.3.5	Ponttonilaituri .....	23
2.4	Kiinteät merimerkit .....	25
3	RAKENTEIDEN VAURIOT .....	27
3.1	Yleistä .....	27
3.2	Sää- ja ympäristöolosuhteiden vaikutuksia .....	27
3.3	Käytön aiheuttamat vaikutukset .....	30
3.3.1	Yleistä .....	30
3.3.2	Laiturin käytön aiheuttamia vaikutuksia .....	30
3.3.3	Sulkujen käytön aiheuttamia vaikutuksia .....	31
3.4	Materiaalien vauriot .....	33
3.4.1	Betonirakenteet .....	33
3.4.2	Teräsrakenteet .....	35
3.4.3	Puurakenteet .....	37
3.4.4	Kivirakenteet .....	37
3.4.5	Eroosiovauriot .....	38
4	VEDENALAISTEN TAITORAKENTEIDEN TARKASTAMINEN .....	41
4.1	Tarkastusjärjestelmä .....	41
4.1.1	Yleistä .....	41
4.1.2	Tarkastusalue .....	41
4.1.3	Vastaanottotarkastus .....	42
4.1.4	Yleistarkastus .....	42
4.1.5	Erikoistarkastus .....	45
4.1.6	Tarkastustulosten raportointi .....	45
4.1.7	Tehostettu tarkkailu .....	46
4.2	Tarkastajien pätevyudet .....	47
4.2.1	Yleistä .....	47

4.2.2	Sukellustyö .....	47
4.3	Turvallisuussuunnittelu.....	47
4.3.1	Viranomaismääräykset ja -ohjeet.....	47
4.3.2	Tilaajan tehtävät.....	48
4.3.3	Toimittajan tehtävät .....	48
4.3.4	Turvallisuuden aloituskokous .....	48
5	VEDENALAISTEN TAITORAKENTEIDEN TARKASTUSMENETELMÄT .....	49
5.1	Skannaava kaikuluotaus.....	49
5.2	Monikeilaus.....	51
5.2.1	Monikeilainmittausjärjestelmä ja mittausprosessi.....	52
5.2.2	Monikeilainmittauksen toteutus.....	53
5.3	Kaikuluotauksen dokumentointi.....	53
5.4	Sukellustarkastus .....	54
5.4.1	Sukellustarkastuksen tarve .....	54
5.4.2	Tarkastussuunnitelma .....	55
5.4.3	Tarkastusvälineet .....	56
5.4.4	Tarkastusmenetelmät.....	58
5.4.5	Dokumentointi .....	59
5.5	Tarkastusmenetelmien vertailua .....	60
5.6	Muut tutkimusmenetelmät.....	62
5.6.1	Matalataajuusluotain .....	62
5.6.2	Viistokaikuluotain .....	63
5.6.3	ROV .....	64
5.6.4	Laserkeilain ja muu täydentävä tieto veden päältä.....	65
6	VAURIOKORJAUKSET .....	67
6.1	Yleistä .....	67
6.2	Betonirakenteet.....	67
6.3	Teräsrakenteet .....	68
6.4	Puurakenteet .....	69
6.5	Kivirakenteet.....	69
6.6	Eroosiosuojaukset .....	70
	LÄHTEET .....	71
	VALOKUVALUETTELO .....	72

# 1 Johdanto

Vedenalaisten taitorakenteiden tarkastusohje on ohjejulkaisu, jossa esitetään Liikenneviraston hallinnoimien taitorakenteiden ylläpitoon liittyvän tarkastustoiminnan periaatteet, toimintatavat ja menetelmät.

Vedenalaisia taitorakenteita on silloissa, kanavarakenteissa, laitureissa, lauttapaikolla ja kiinteissä merimerkeissä. Vedenalaisten rakenteiden tarkastamiseen on aikaisemmin laadittu Siltojen sukellustarkastusohje (Tiehallinto, 2009) ja Satamalaitureiden kunnonhallinta, Liite 3, Sukellustarkastusohjeet (RIL 236–2006). Vedenalaisten taitorakenteiden tarkastusohje on ensimmäinen tarkastusohje, joka käsittelee kaikkien taitorakenteiden vedenalaisten rakenteiden tarkastamista eri tarkastusmenetelmillä.

Taitorakenteiden vedenalaisten rakenteiden tarkastusohjeen lisäksi tarkastuksissa käytetään erillisiä siltojen, kanavarakenteiden, laitureiden ja kiinteiden merimerkkien tarkastuskäsikirjoja soveltuvin osin.

Vedenalaisten taitorakenteiden tarkastusohjeessa käsitellään pääpiirteittäin eri vedenalaiset rakenteet, niiden vauriot, tarkastusjärjestelmään kuuluvat tarkastustyytit, tarkastajilta vaadittavat pätevyudet ja turvallisuunnittelu sekä eri tarkastusmenetelmät ja vaurioiden korjaaminen. Tarkastusmenetelmistä kuvataan Suomessa yleisimmin käytettävät uudet teknologiat skannaava luotaus ja monikeilaus sekä perinteinen sukellustarkastus. Tulosten raportoinnista annetaan yleisohjeet eri menetelmillä tehdyistä tarkastuksista tarkastustyypeittäin.

Rakenteiden vaurioitumisesta ja niiden korjaamisesta kuvataan yleisimmät vaurioitumistavat ja korjausmenetelmät betoni-, teräs-, kivi- ja puurakenteille.



## 2 Vedenalaiset taitorakenteet

### 2.1 Sillat

Silta on rakenne, joka johtaa liikenteen esteen yli, mahdollistaen kulkemisen sen alitse. Sillaksi katsotaan rakenne, jonka vapaa-aukko on vähintään 2,0 m. Liikennevirastolla on siltoja yhteensä n. 17 500 kpl, joista maantiesilloja on n. 15 000 kpl ja rautatiesilloja n. 2 500 kpl. Silloista vesistösiltoja on n. 10 000 kpl, joista teräksisiä putkisoltoja n. 3 000 kpl. Suomen sillastosta on n. 60 % vesistösiltoja.

Vesistösilloissa on vedessä ja veden vaikutusalueella erityyppisiä ja eri materiaaleista tehtyjä alusrakenteita, jotka muodostuvat perustuksista, väli- ja päätytuista sekä eroosiosuojauksista. Lisäksi on teräksisiä vesistöputkisoltoja. Tavallisimmin tuet on perustettu maan- tai kallionvaraisesti laattaperustuksille, lyöntipaalutetulle laattaperustukselle, suurpaalujen varaan ja kasuuni- tai uppokaivoperustuksille.

#### 2.1.1 Välituet

Vesistösilloissa välituet ovat usein massiivisia, teräsbetonirakenteisia seinämäisiä virtapilareita. Jääsärkijäpilareita käytetään jokisilloissa, joissa on voimakas jäiden lähtö. Seinämäinen välituki kiinnittyy anturaan tai peruslaattaan. Vanhimmissa silloissa välituet ovat kivirakenteisia.

Virtaavan veden ja jäiden kulutusta sekä betonin pakkasvaurioita vastaan pilarit on usein suojattu kiviverhouksella vedenvaihtelualueelta. Hoikkien pilarien suojana käytetään ruostumatonta tai merialueella haponkestävää teräsvaippaa.



Kuva 1. Välituen skannaava kaikuluotaus ja valokuva yhdistettynä

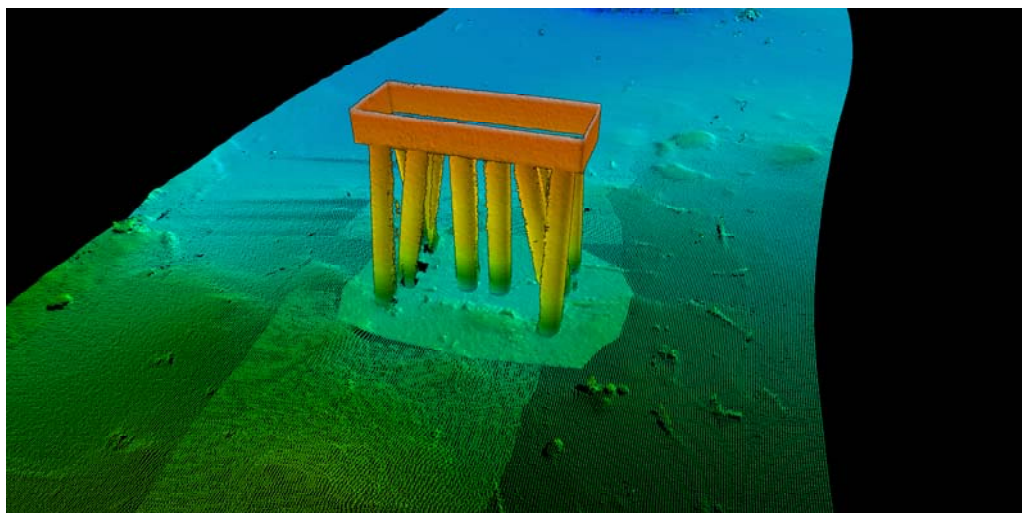


Kuva 2. Välituen monikeilaus ja valokuva

### 2.1.2 Paalut

Kaivettavat suurpaalut (läpimitta  $\geq 300$  mm) ovat yleisiä siltojen perustuksia. Suurpaaluina käytetään kaivinpaaluja, suuria teräspalkkipaaluja, Franki- ja Vibrex-paaluja. Tavanomaisin suurpaalutyyppejä on kaivinpaalu. Suurpaaluja käytetään ilman peruslaattaa tai peruslaattaan kiinnittyneinä. Teräsbetoniset paalut on usein suojattu vedenvaihtelualueelta betonimanttelilla sekä ruostumattomalla tai haponkestävällä teräksellä.

Lyöntipaaluina käytetään teräsbetoni- ja teräspaaluja. Lyöntipaalutettujen laatta-perustusten yleisin lyöntipaalu on teräsbetoninen lyöntipaalu  $300 \times 300$  mm<sup>2</sup>.



Kuva 3. Monikeilaamalla mitattu paalutuki

Puusiltojen puiset välituet on usein tehty paalutukena. Virtaavissa paikoissa, joissa on voimakas jäiden lähtö, ylävirranpuoleiset vinopaalut ovat varustettu jäänsärkijöillä. Puupaaluja ei enää käytetä siltarakenteissa poikkeuksena siltojen korjaaminen ja uusiminen, jolloin vanhoja tukia voidaan käyttää hyväksi, mikäli paalut ovat pysyvästi veden alla.



Kuva 4. Puurakenteinen paalutuki

### 2.1.3 Holvi- ja kaarisiltojen kantamuurit

Vanhimmat käytössä olevat sillat ovat kiviholvisilloja, joista vanhimmat ovat tehty erikokoisista muokkaamattomista kivistä kiilakivillä kiilaamalla ilman laastia. Betonirakenteisten holvi- ja kaarisiltojen kantamuurit voivat olla verhoillut luonnonkivillä.



Kuva 5. Kiviholvisillan kantamuri

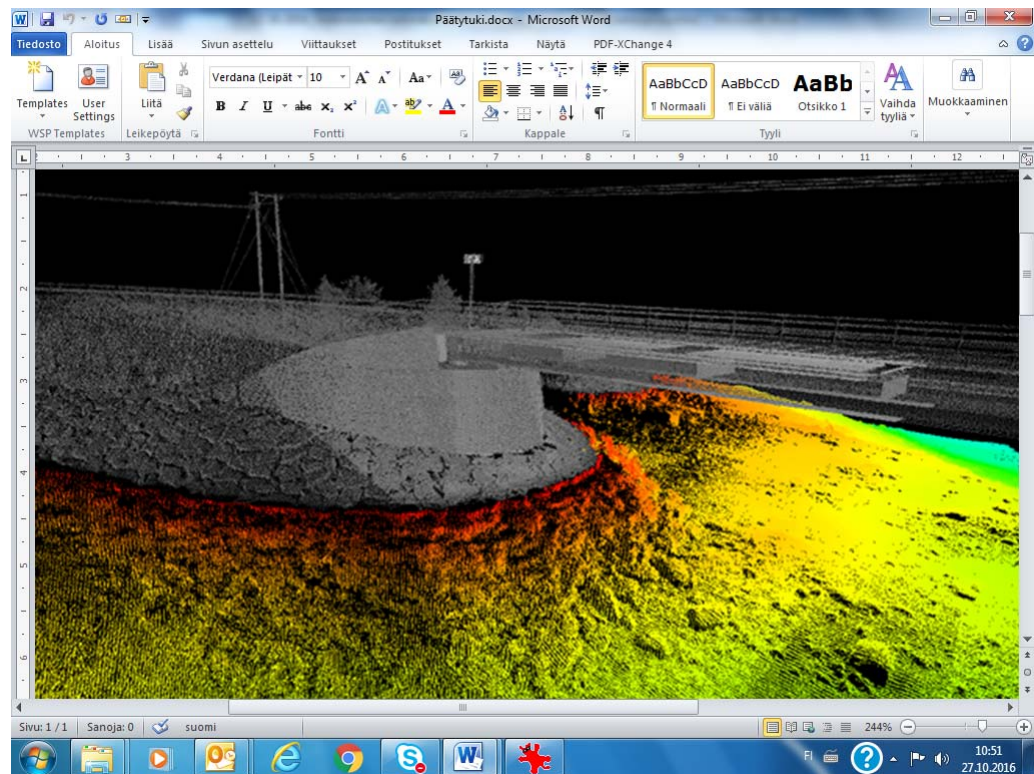




Kuva 6. Kantamuurin skannaava kaikuluotaus ja valokuva yhdistettynä

#### 2.1.4 Päätytuet

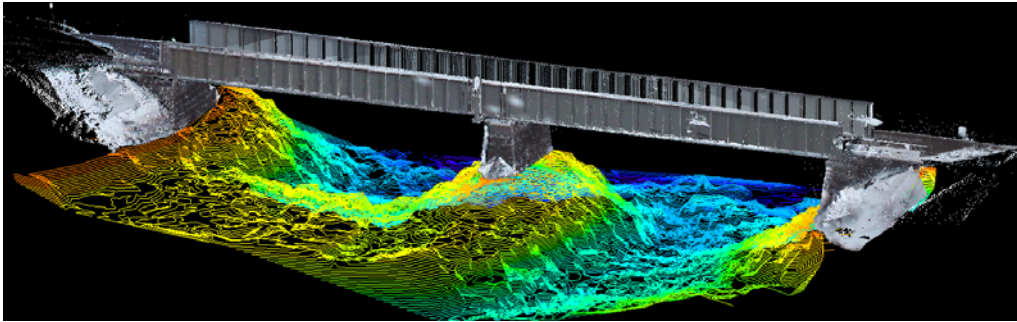
Yleisimpiä päätytukia ovat teräsbetoninen massiivinen tai jalallinen maatuki. Muita päätytyyppejä ovat ulokesillan päätytukena toimivat suurpaalut ja pilarit. Maatuet voivat olla verhoillut luonnonkivellä vedenvaihtelualueelta. Vanhoissa silloissa maatuet ovat usein kivirakenteisia.



Kuva 7. Sillan päätytuki moni- ja laserkeilaus pistepilvenä

### 2.1.5 Eroosiosuojaukset

Siltapaikoilla veden virtauksesta ja paikallisesta eroosiosta johtuen vedenalaisten rakenteiden suojaamiseksi asennetaan luiskien ja rakenteiden ympärille suojaus luonnonkivistä, louhitusta kivimateriaalista tai betonista, joka estää maa-aineksen poishuuhtoutumisen uoman pohjasta ja reunoilta. Louhoskivistä tai halkaistuista luonnonkivistä koneellisesti tehty kiviheitokeverhous on yleisesti käytetty eroosiosuojaus.



Kuva 8. Rautatiesillan välituen eroosiosuojaus

### 2.1.6 Putkisillat

Tierakenteissa ja rautateillä käytetään yleensä aallotetusta teräslevystä tai -nauhasta valmistettua putkirakennetta vesistösiltoina. Teräs on pinnoitettu kuumasinkityksellä. Uudemmissa putkissa lisäpinnoitteena käytetään polymeeripinnoitteita kuten epoksi, polyuretaani tai polyeteeni. Nykyisin on käytössä myös muovikomposiittiputkia.



Kuva 9. Teräksinen putkisilta



## 2.2 Kanavarakenteet

Suomen merkittävin kanavayhteys on Saimaan kanava, joka yhdistää Saimaan vesistön syväväylästä Suomenlahteen. Tämän lisäksi Liikennevirasto hallinnoi ja ylläpitää tällä hetkellä 31 sulkukanavaa, jotka sijaitsevat Vuoksen, Kymijoen ja Kokemäenjoen vesistöissä. Viimeisimmät uudet kanavareitit ovat 1990-luvun alussa rakennettu Keiteleen kanava sekä 2000-luvun alussa rakennetut Tahkon reitin kanavasulut Juankoski ja Karjalankoski.

Kanavarakenteilla tarkoitetaan tässä yhteydessä kanavan pohja- ja tukimuurirakenteita, luiskia, tukimuurien taustatäyttöjä, kanavien sivuilla olevia kulkuväyliä, porttikammioita ja edellä mainittuihin rakenteisiin kiinnittyviä varusteita kuten hätäportaita, kaiteita, valaisimia, hankausparruja ja pollareita. Lisäksi tarkastelupiiriin kuuluvat kanavan uitto- ja laivajohteet sekä odotuslaiturit ylä- ja alakanavissa. Kanavia risteäviä muita liikenneväyliä ja näitä palvelevia siltoja on käsitelty kohdassa 2.1 sillat. Erikoisuutena erilaiset avattavat sillat, joita on kanavilla viitisentoista kappaletta. Kanavarakenteita ovat myös avokanavaosuudet, joissa on erilaisia suojattuja luis-karakenteita.



Kuva 10. Kanavarakenteita

### 2.2.1 Sulut

Sulkujen tarkoituksena on mahdollistaa liikennöinti vesistöjen välillä. Sulkukammiossa alus voidaan nostaa tai laskea vesistön osasta toiseen. Suluilla voidaan myös säätää sulun yläpuolisen vesistön korkeustasoa lähtökohtaisesti siten, että kanavareitin väylästä täytetään sille suunnitellut syvyysvaatimukset.

Sulut on yleensä suunniteltu sekä alusliikenteen että puunuiton tarpeisiin. Uitto on ollut merkittävässä roolissa 1900 -luvulla kanavareittien suunnittelussa ja rakentamisessa. Nykyään sen merkitys on vähentynyt ja pääasiallinen liikenne on laiva-, sisävesiristeily- ja huviveneliikennettä.

Sulutettaessa alusta ylöspäin veden pintaa nostetaan sulkukammiossa johtamalla yläkanavasta vettä sulkukammioon. Tämä tapahtuu portti- ja sulkukammion rakenteesta riippuen esimerkiksi raottamalla portteja, avaamalla portissa olevia luokkuja tai johtamalla vettä sulkurakenteiden sisällä olevia tunneleita ja putkistoja pitkin. Vastaavasti sulutettaessa alaspäin lasketaan veden pintaa sulkukammiossa päästämällä vettä alakanavaan käyttäen sulkuporttia tai muuta rakenteessa olevaa järjestelmää. Jos sulutuskorkeus on suuri niin sulutukseen kuluva aika kasvaa ja vesimäärät voivat olla mittavia, jolloin tarvitaan erityisesti sulkukammiossa veden virtauksen vaimennusrakenteita.

### 2.2.2 Sulkurakenteet

Sulkujen tarkastusalueeseen katsotaan tässä tarkastusohjeessa kuuluvaksi ylävedenpuolella sijaitseva yläkanava, alavirranpuolella sijaitseva alakanava sekä näiden välillä oleva sulkuporttien välinen sulkukammion osuus.

**Sulkukammio:** Perinteisimmin sulkukammioiden rakenteet ovat teräsbetoni-/kivirakenteisia massiivirakenteita. Useimmiten sulkukammiot ovat ainakin alaosaan kalliin perustettuja. Sulun pohja voi olla paljaalla kalliopinnalla ja seinärakenteissa on usein betonirakenteisia verhomuureja. Jonkin verran esiintyy hiekka- ja moreenimaahan rakennettuja massiivisia sulkurakenteita.

**Portit:** Sulkukammioiden päissä sijaitsevat ylä- ja alaportit, jotka ovat tyypiltään yleensä salpaus-, sektori-, segmentti- tai nostolaskuportteja. Sulkujen rakenteisiin liittyy myös usein virtausta vaimentavia / rajoittavia rakenteita.

**Ylä- ja alakanava:** Erityisesti alakanavassa on alaportin takana pohjassa eroosiosuojausta ainakin sillä alueella, jonne sulun tyhjennyksen virtaukset vaikuttavat. Muuten pohjat ovat yleensä paikalla olevaa maa-ainesta tai louhittua kalliota. Ylä- ja alakanavan seinissä käytetään kiviladoksia, massiivisia betonikulmamureja, ponttiseiniä ja hirsiarkkuja vastaavaan tapaan kuin laitureissa, katso kohta 2.3 Laiturit, lautta-paikat ja rantarakenteet. Kanavissa on myös odotuslaituri sulutusta odottaville aluksille. Reunamuurit on suojattu pohjassa eroosiosuojauksella, jos maaperä on virtaus-ten aiheuttamalle eroosiolle altis.

**Erikoisrakenteet:** Sulut sisältävät lisäksi vedenalaisia erikoisrakenteita, kuten porttien pohja tai reunakiskot, settipatourat ja -kynnys settipadolle sulun kuiville ottamista varten, pumppauskaivot sulun tyhjentämistä varten, tikkaat, veden mukaan säätyvät tai kiinteät pollarit ja rakenteissa olevat kanavistot, kanaalit tai tunnelit sulun tyhjentämistä ja täyttöö varten.

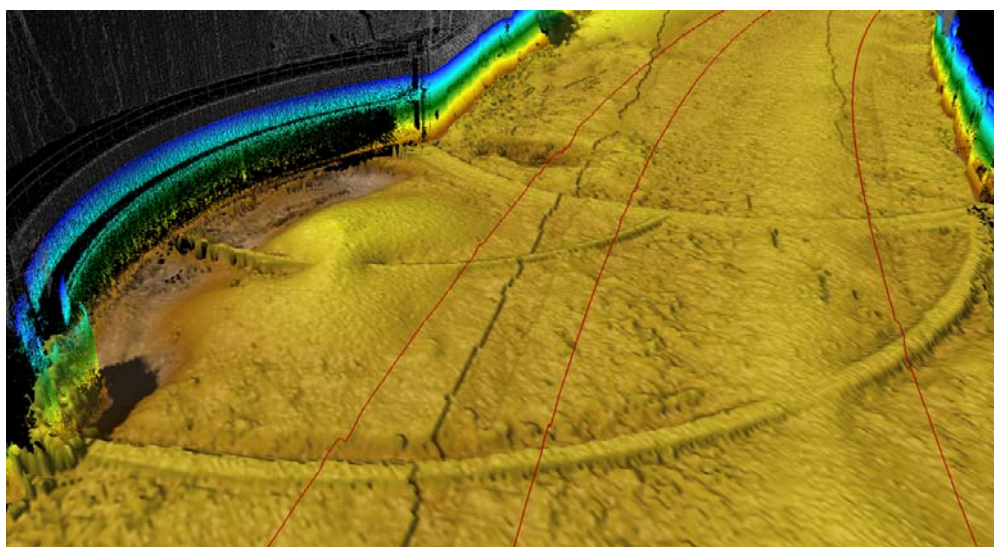


Kuva 11. Sektorirakenteinen sulkuportti

### 2.2.3 Padot, turvapadot ja lapot

**Patorakenteiden** pääasiallisena tarkoituksena on vedensäännöstely tai sen liikkeiden rajoittaminen eri korkeudella sijaitsevien vesistöjen tai altain välillä. Patoja käytetään yleisesti sähkön tuotannossa, tulvien torjunnassa tai veden varastoinnissa erilaisiin altaisiin. Tyypillisimpiä patorakenteita ovat teräsbetonirakenteiset, maa- ja kivirakenteiset padot tai näiden erilaiset yhdistelmät.

**Turvapadoilla** tarkoitetaan rakenteita, jotka sijaitsevat vesistöissä, joissa on merkittävä riski tulvan aiheuttamille vahingoille sulkuporttien tai muiden säännöstelyrakenteiden pettäessä. Turvapatoja on Suomessa vain Saimaan kanavalla. Sulkujen ylä- ja alakanavien rakenteissa on usein settiseinien urat, joihin voidaan tarvittaessa asentaa settipatoelementtejä. Elementtien tarkoituksena on mahdollistaa sulkujen kuivataminen korjaus- tai tarkastustöiden yhteydessä tai estää veden vapaa virtaaminen sulkurakenteiden läpi luukkujen vaurioitumistilanteessa.



Kuva 12. Turvapatorakenne monikeilan pistepilvenä

**Lappojen** avulla säädetään sulkujen välisen kanavan osan vedenkorkeutta. Lappoja on Suomessa vain Saimaan kanavassa. Samassa tarkoituksessa kanavissa on käytetty myös patokynnyksenä toimivaa teräsbetonista tai kivirakenteista patoseinää.

**Säännöstelypatojen** tarkoituksena on vesimassojen liikkeiden hallinnointi esimerkiksi sähköntuotannon tarpeisiin tai tulvariskialueilla hallita suurimpien tulvahuippujen ja toisaalta kuivimpien aikojen vedenpintaa. Säännöstelypadot ovat useimmiten betonirakenteisia, joissa esiintyy suluissakin olevia luukkuratkaisuja. Ylävirranpuoleisilla alueilla säännöstelypatojen rakenteisiin voi usein kuulua myös silloista tuttuja siipimuurirakenteita. Suluista poiketen säännöstelypatojen käyttöön ei liity alusliikenteen kulkua ja padot voivat olla usein mitoiltaan hyvinkin pieniä. Säännöstelypatojen yhteydessä on usein myös luiskamaisia maapato-osuuksia. Säännöstelypatoja on luonnonmukaistamisen yhteydessä korvattu muuttamalla padot perinteisiksi pohjapadoiksi.



Kuva 13. Kuurnan sulkuun liittyvä pato ja ohjuoksutusportti

Patorakenteiden perinteiset tarkastukset on suoritettu aikaisemmin pääosin sukellustyönä, visuaalisina tarkastuksina. Sukellustarkastuksien etuna ovat yksityiskohtaiset havainnot pienistäkin vaurioista tai silmä-käsikoordinaatiota vaativat tehtävät kuten esimerkiksi näytteenotto. Sukeltamisen rajoittavana tekijänä ovat veden sameudesta, virtauksesta tai kohteen laajuudesta tulevat haasteet, jotka rajoittavat havaintojen sijaintitarkkuutta.

Laajempien alueiden kokonaisuuksien hahmottamisessa toimivia menetelmiä ovat kaikuluotaamalla suoritettavat tarkastukset. Vaurioiden syy-seuraussuhde tarkastuskohteissa ei rajoitu usein pelkästään välittömästi rakenteen edustalle, vaan havaittu vaurio voi olla seurausta etäämmällä olevasta ongelmasta.



#### 2.2.4 Avokanavat ja rakennettu maaluiska

Maaluiskia on erityisesti kanavissa sulkujen välisillä osuuksilla. On myös avokanavia, joissa ei ole lainkaan sulkuja. Usein myös laitureihin liittyy maaluiskia. Käytännössä eroosion vaikutus voi siirtyä maaluiskan kautta laituri- ja muurirakenteen taakse tai alle.

Yleensä maaluiskat on suojattu suodatinkerroksilla ja eroosiosuojauksella. Paikoitellen esiintyy edelleen vanhoja määrämuotoisista kivistä ladottuja luiskaverhouksia. Nykyään ne ovat liian kalliita rakentaa. Tyypillinen tapa toteuttaa luiskan eroosiosuojaus on ns. käänteinen suodatin eli tehdään erikokoisesta materiaalista useampi kerros niin, että päällimmäiseksi tulee kaikkein karkeimmasta aineksesta koostuva eroosiosuoja. Toinen tapa on käyttää suodatinkangasta eroosiosuojakerroksen alla estämässä hienojakoisemman täytemaan huuhtoutumista rakenteesta. Luiskan juuressa sijaitsee usein juurioja, joka on täytetty eroosiosuojaukseen sopivalla karkealla aineksella.

Kanava voi rajoittua myös kallioleikkaukseen. Kallioleikkauksista voi sortua kiviä vesiväylälle.

Suomessa on käytössä ja valtion ylläpitämänä joitakin veneenvetoluiskia. Ne on yleensä päällystetty betonilaatoilla. Myös näissä rakenteissa ympäristövaikutukset kuten jää ja lämpötilavaihtelut voivat aiheuttaa vaurioita. Sama pätee yleensä vene-luiskiin, joita ei enempää käsitellä tässä yhteydessä.



Kuva 14. Lemströmin avokanava



### 2.2.5 Eroosiosuojaukset

Eroosiosuojauksen tehtävänä on estää erityisesti virtauksien, aaltojen tai jään aiheuttamaa rakenteen vahingoittumista, jonka syntymiselle antaa sysäyksen useimmiten maa-aineksen kulkeutuminen pois rakenteesta tai sen läheisyydestä.

Maaluiskissa eroosiosuojaus ulotetaan em. tekijöiden vaikutusalueelle; käytännössä veden pohjasta niin korkealle veden yläpuolelle kuin on tarpeen.

Kanava-, laituri- ja muissa vesirakenteissa eroosiosuojauksen tarkoitus on estää pohjassa tapahtuvan eroosion eteneminen rakenteen läheisyyteen ja sen alle, jolloin rakenteen alla tai takana olevan maaperän kantavuus voi vaarantua aiheuttaen rakenteen liikkumista ja vaurioitumista. Eroosiosuojausta suunniteltaessa määritellään myös, kuinka kauas rakenteesta se tulee ulottaa veden pohjassa.

Eroosiosuojauksiin käytetään erilaisia ratkaisuja olosuhteiden mukaisesti. Valintaan vaikuttaa oleellisesti alueen maaperä, kyseessä oleva rakenne ja kohdistuvan rasituksen kesto ja voimakkuus.

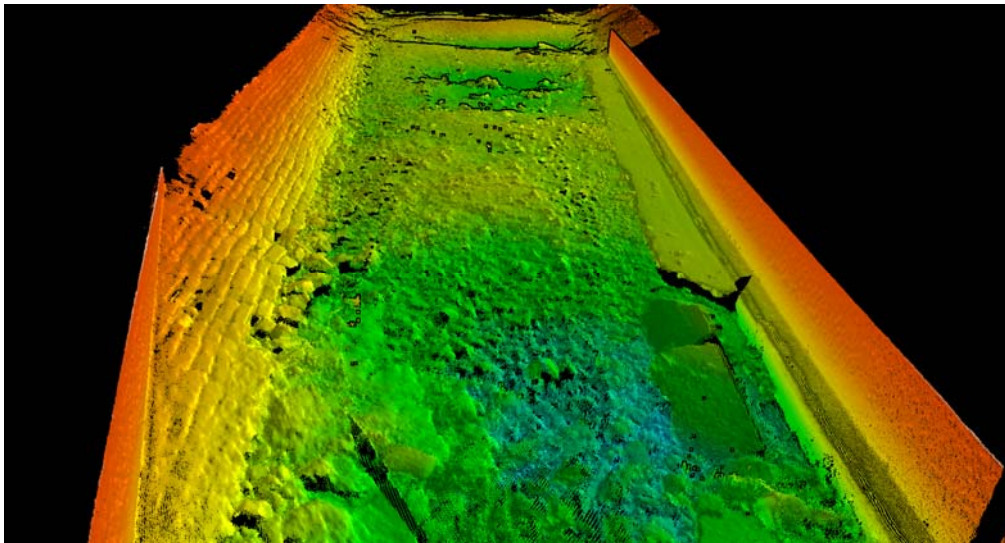
Hyvin tyypillisiä ovat louhe tai kiviheitoke niin luiskissa kuin kanavan tai laiturialueen pohjassakin. Käytettävän materiaalin raekoon tulee olla riittävän iso, jotta materiaalin paino pitää ne paikallaan esimerkiksi potkurivirtauksien vaikutuksen aikana. Etuna on, että suojarakenne tiivistyy, kun alta huuhtoutuu pienempää maa-ainesta pois. Kiviainesta voidaan myös sitoa esimerkiksi betonilla.

Varsinkin kanavissa on käytetty sulk- ja odotussatama-alueiden yhteydessä kivi-koreja eroosiosuojauksen osana. Tukeva metallinen verkkohäkki täytetään kivillä ja asetetaan eroosiosuojaukseen. Kivikorikin on jossain määrin joustava ja vajoaa perusmaahan hienoaineksen huuhtoutuessa sen alta pois.

Betonilaatoista koottuja eroosiosuojauksia on käytetty laitureiden eroosiosuojauksena varsinkin aikaisemmin. Laatan ongelmana voi olla se, että eroosion päästyä laatan alle se kallistuu, ja osa laattaa nousee muun pohjantason yläpuolelle aiheuttaen myös siten vaaraa aluksille.

Vedenalaisella betonivalulla toteutettuja laattoja käytetään myös satamarakenteiden eroosiosuojauksissa. Eroosion edetessä laatan alle se yleensä lohkeilee pienemmiksi palasiksi ja palojen osat saattavat nousta muun pohjantason ylle.

Toisinaan eroosiosuojana käytetään eroosiomattoa, joka on tyypillisesti betonilla täytetty osastoitu tekstiili. Tämä mukautuu joustavasti pohjan muotoihin ja pysyy hyvin paikoillaan. Rakenteen vahvistamiseksi voidaan käyttää myös valun raudoitusta. Laiturin alla olevan luiskan eroosiota ja valumista satama-altaaseen on pyritty estämään louheen tai kiviheitokkeen lisäksi mm. luiskan alapäästä tukevilla betonipalkeilla.



Kuva 15. Alakanavan eroosiosuojasta

## 2.3 Laiturit, lauttapaikat ja rantarakenteet

Liikenneviraston omistamia erilaisia laitureita on Taitorakennerekisterin mukaan noin 300 kpl. Isoimmat laiturit ovat yhteysliikennelaitureita saariston henkilö- ja tavara-liikenteen tarpeisiin. Lisäksi on lossilaitureita saaristossa ja sisävesillä. Kolmannen ja suurimman ryhmän muodostavat ns. maantielaiturit, jotka on tarkoitettu saariston huoltoyhteyksien tarpeisiin.

Tavallisimmat laiturityypit on esitetty toimintatapansa perusteella. Näitä ovat massiivilaiturit, ponttiseinälaiturit, paalu- ja pilarilaiturit ja niiden yhdistelmät. Lisäksi käsitellään tihtaalit ja ponttonilaiturit. Eroosiosuojauksia on käsitelty kohdassa 2.2.5 Eroosiosuojaukset. Laiturityypin valintaan kulloisessakin rakennuspaikassa vaikuttaa monia tekijöitä. Tärkeimpiä ovat perustusolosuhteet ja laiturissa ajatellun toiminnan aiheuttamat vaatimukset. Perustusolosuhteet on huomioitava myös tarkastuksissa.



Kuva 16. Skannaavan kaikuluotaimen kuva ja valokuva yhdistettynä massiivilaiturista

### 2.3.1 Massiivilaiturit

Massiivirakenteita käytetään laitureissa ja rantarakenteissa. Tyypillisimpiä massiivirakenteita ovat ladotut kivi-/betonimuurit, kasuunit, kulmatukimuurit, arkut ja osastoivat rakenteet. Rakenne on kalliopohjalla tai muuten kantavalla maapohjalla. Rakenteen paino saa rakenteen pysymään paikoillaan ja mahdollistaa laiturin taustan täyttämisen ja muun satamarakenteen toteuttamisen. Massiivilaituria voidaan käyttää niin ranta- kuin pistolaiturinakin.

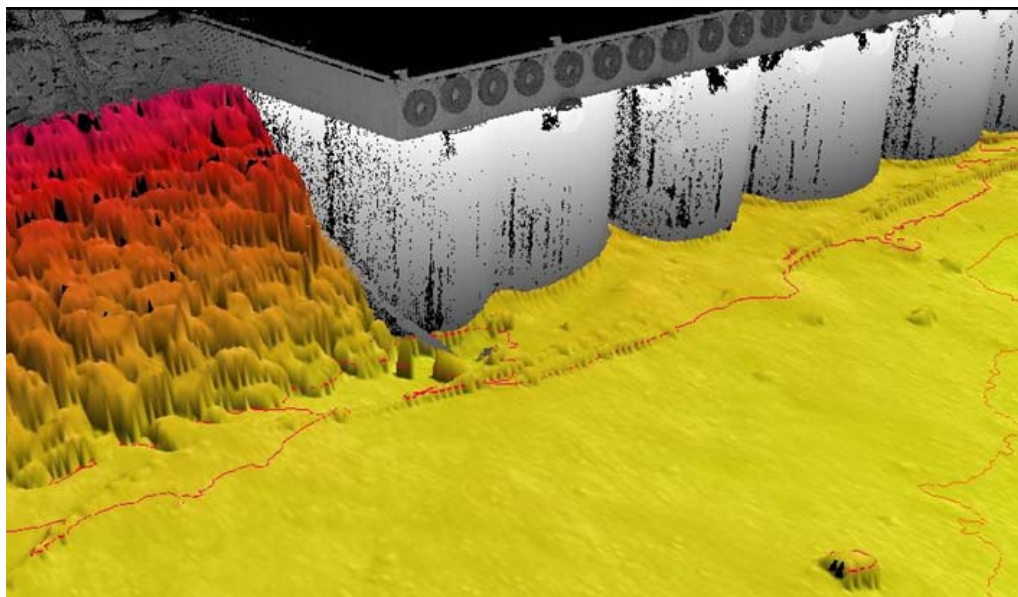
**Määrämuotoisista kivistä tehdyt massiivilaiturit** ja rantamuurit ovat vanhimpia rakennetyyppejä. Joskus kivien sijaan käytetään betonisia lohkareita. Muurin alle rakennetaan yleensä rakennekerroksia maalajeista, joilla pohjan kantavuutta saadaan lisättyä. Rakenteen edessä on tarpeen käyttää eroosiosuojausta, jotta pohjan mahdollinen eroosio ei pääse rakenteen alle. Mahdollinen vauriotapa on myös ladoksen löystyminen. Tällöin yleensä mukana on veden virtausta aallokon, alusten peräaaltojen tai potkurivirtausten vaikutuksesta rakenteen sisällä, mikä kuljettaa taustatäyttöä ja suodatinkerroksia rakenteen takaa aiheuttaen lopulta rakenteen sortumisen.

**Kasuunilaituri** koostuu paikalle uitettavista, yleensä betonisista kasuuneista, jotka asennetaan paikalleen ja täytetään osittain tai kokonaan maalla tms. raskaalla täyteaineella. Ennen kasuunin asennusta pohjaan laitetaan kantavampia rakennekerroksia ja/tai pohja tasataan. Kasuuni vaatii tällöin eroosiosuojauksen, joka estää merenpohjan eroosiota etenemisen rakenteen alle.

**Kulmatukimuuuri** koostuu yleensä betonisista L-elementeistä. Elementissä oleva pohjalaatta jää taustatäytön alle, jolloin laiturin toimii massiivirakenteen tavoin. Näidenkin alla käytetään alustatäyttöä pohjan kantavuuden lisäämiseksi. Elementin edessä käytetään eroosiosuojausta.

**Arkkulaiturit** muistuttavat kasuunia. Perinteisesti Suomessa on käytetty paljonkin hirsiarkkuja eli hirsinen kehikko on upotettu perustuskohtaan ja se on sitten täytetty kivillä vakaan perustan aikaansaamiseksi. Hirsiarkkujen käyttö on uusien tekniikoiden myötä poistunut lähes kokonaan.

Teräsponteista, putkiponteista tai -lieriöistä kootuista osastoista koostuvat massiivilaiturit ovat lisääntyneet edullisuutensa takia. Laituri koostuu toisiinsa kytketyistä suuren läpimitan omaavista osastoista (halkaisija usein >20 m), jotka täytetään maaineksella. Nämä ovat erityisen suosittuja arktisilla alueilla, koska kestävät laajoja horisontaalisia jääkuormia.

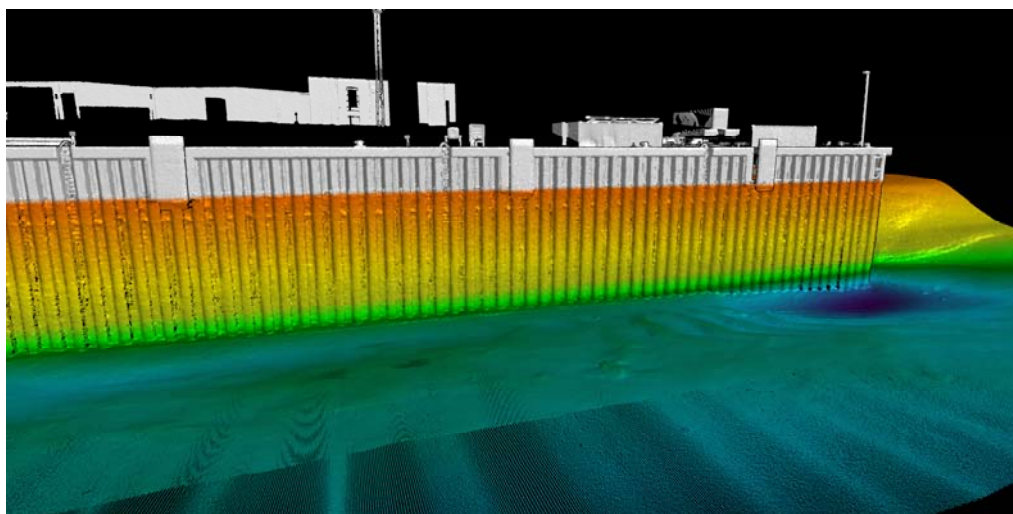


Kuva 17. Massiivirakenteisen laiturin moni- ja laserkeilan pistepilvi

### 2.3.2 Ponttilaituri

Ponttilaiturit ovat yleisiä Suomessa. Tyypillinen ponttilaituri koostuu toisiinsa lukituista teräsponteista, jotka täytetään tai lyödään veden pohjaan riittävän syvään maaperään, jotta pohjamaan paine seinän edessä estää sen liikkumisen, kun tausta on täytetty. Ponttien alapää voidaan myös ankkuroida kallioon. Ponteissa käytetään erilaisia profiileja kuten esimerkiksi U-, Z- tai H-profiili. Yläpäästään ja joskus myös vedenpinnan alapuolelta välivedestä seinä ankkuroidaan vetotangoihin tai muulla tavalla taustan maaperään, minkä jälkeen tausta voidaan täyttää.

Laiturin edessä on saatettu käyttää eroosiosuojausta, mutta usein on ajateltu ponttien olevan niin syvällä merenpohjassa, että eroosio ei pääse tunkeutumaan sinne asti. On kuitenkin todettu, että erityisesti keulapotkureiden vaikutus voi ulottua useiden metrien syvyyteen pohjassa hyvinkin rajatulla alueella laiturirakenteen välittömässä läheisyydessä.



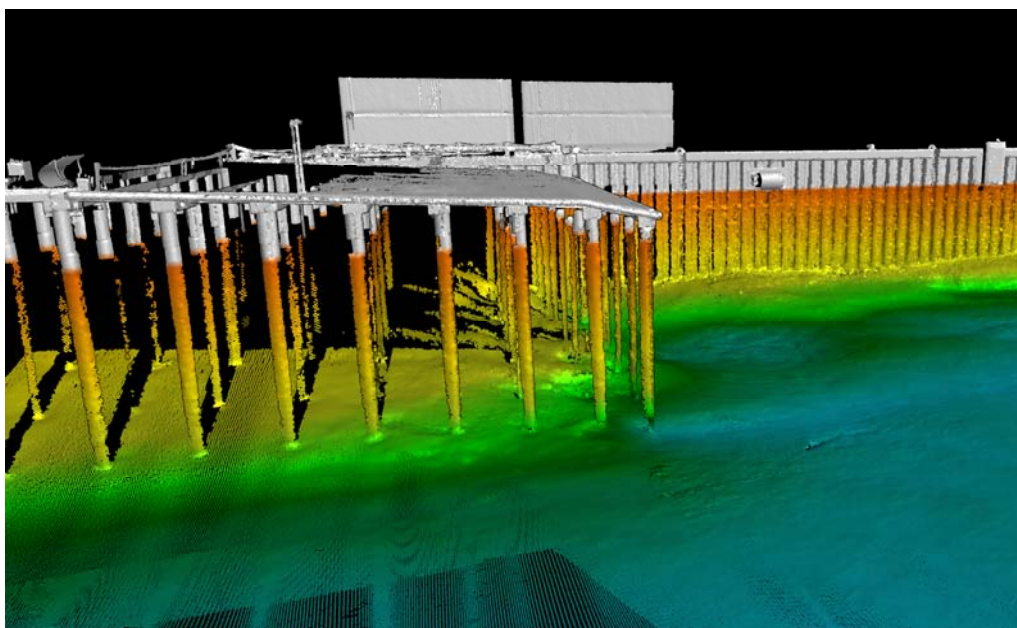
Kuva 18. Teräsponttirakennetta



### 2.3.3 Paalu- ja pilarilaituri

Paalu- ja pilarilaitureita kutsutaan osittain avoimiksi tai kokonaan avoimiksi. Esimerkiksi rantalaiturissa varsinainen laiturirakenne on paalujen tai pilarien kannattama ja laiturin alla on luiska, joka tulee altaan pohjasta aina laiturin kannen ja laiturikentän liittymäkohtaan saakka. Kokonaan avoin on esimerkiksi paalujen varaan perustettu pistolaituri. Paalut tai pilarit pyritään rakentamaan aina kovaan (kallio)pohjaan saakka. Paalut voivat olla hyvinkin syvällä maaperässä. Pilarit valetaan usein paikalla ja niissä voi olla kallioankkurointi.

Jos laiturin alla oleva luiska on maaluiska, tulee se eroosiosuojata. Horisontaalisia voimia varten laituri on ankkuroitu laiturikenttään, tai pistolaiturissa on vinopaaluja vastaanottamassa horisontaalikuormia. Tarkkailtava asia on luiskan pysyvyys, jottei se valu mahdollisiin eroosiokuoppiin luiskan juuressa sekä se, että potkurivirtauksien tai aallokon vaikutus eivät huuhto luiskasta materiaalia vaurioittaen eroosiosuojaa ja luiskaa. Luiskan liikkuaessa se voi kohdistaa paaluihin horisontaalisia voimia, tai laiturikentän alta valuu pois alusmateriaalia aiheuttaen kuoppia tai sortumavaaraa laiturikentällä.



Kuva 19. Paalulaituri

### 2.3.4 Tihtaalit

Laitureihin voi liittyä tihtaalirakenteita laiturin olennaisena osana tai alusta laituriin ohjaavana lisärakenteena. Yhteysaluslaitureissa esiintyy erillisiä tihtaaleja, jotka usein sijaitsevat vesialueella laituria vastapäätä siten, että yhteysalus ajaa laituriin tihtaalin ja varsinaisen laiturin väliin. Tihtaalin tarkoitus on ohjata alusta ja estää sitä joutumasta esimerkiksi tuulen vaikutuksesta satama-altaan sivussa olevaan matalikkoon. Tihtaalit ovat yleensä paalu tai pilarirakenteisia.

Tihtaaleilla voidaan myös jatkaa laiturilinjan pituutta niin, että varsinainen lastaustoiminta tapahtuu lyhyellä kiinteällä laituriosuudella, ja tihtaalit toimivat laivan kiinnitystä ja laiturissa oloa helpottavina rakenteina. Tällöin ne on varustettu pollareilla ja fendereillä sekä myös yhdistetty varsinaiseen laituriin kulkusilloilla.



Paalu- ja pilarirakenteisten tihtaalien lisäksi esiintyy massiivirakenteisia tihtaaleja kuten kasuuneja. Erityisesti massiiviperustusten yhteydessä on eroosiosuojauksia, joita tulee tarkkailla.



Kuva 20. Tihtaali

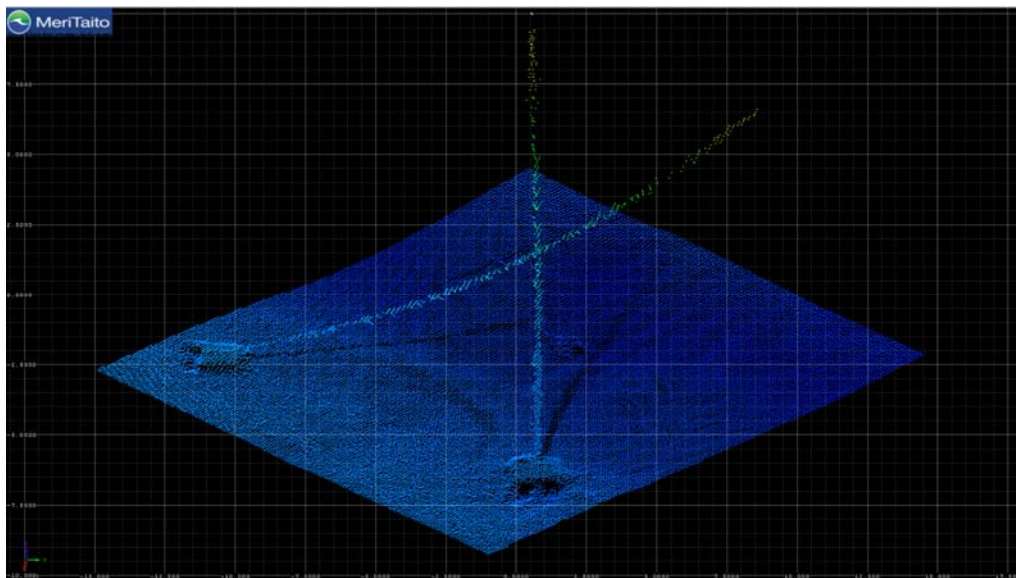
### 2.3.5 Ponttonilaituri

Ponttonilaitureita käytetään Suomessa yleensä keveissä venesatamalaitureissa, mutta myös raskasponttonilaitureita on rakennettu pääasiassa yhteysaluslaitureiksi. Nii- tä on muutamia kymmeniä Liikenneviraston hoidettavina. Tyypillisesti nämä pontto- nilaiturit ovat teräsbetonilaitureita, jotka ovat sisältä onttoja ja kelluttavalla aineella täytettyjä. Ponttonilaitureiden toiminnan kannalta on tärkeää, että ne pysyvät vesi- tiiviinä eikä mahdollinen täyteaine vety ja menetä kelluttavuutta.

Laiturit on asennettu paikalleen kettinkien ja painojen avulla. Kovassa tuulessa ja merenkäynnissä on mahdollista, että painot siirtyvät ja laituri myös siirtyy paikaltaan. Koska laituri liikkuu jatkuvasti aallokon vaikutuksesta, niin kettinkeihin kohdistuu liikkeen aiheuttamaa kuluttavaa rasitusta. Laitureita tarkistettaessa on tärkeää todeta painojen tarkoituksenmukainen sijainti sekä kiinnityskettinkien ja -sakkeleiden kunto.



Kuva 21. Ponttonilaituri



Kuva 22. Ponttonilaiturin ankkuripainot ja kiinnityskettingit monikeilain pistepilvenä

## 2.4 Kiinteät merimerkit

Suomen rannikoilla ja sisävesillä on noin 8300 kiinteää merimerkkiä ja sitäkin enemmän kelluvia turvalaitteita. Suurimpia rakenteita ovat merimajakat, joita on 46 kpl. Määrällisesti eniten on linjamerkkejä noin 4900 kpl. Suurin osa kiinteistä merimerkeistä on rakennettu kuivalle maalle: mantereelle, saariin ja luodoille. Veteen rakennettuja merkkejä on joitakin satoja kappaleita. Ne ovat pääasiassa pohjamajakoita, kiinteitä reuna- ja tutkamerkkejä sekä linjatauluja erityisesti Pohjanlahdella.

Merenkulun turvalaitteiden tehtävänä on helpottaa navigointia vesistössä. Viitoilla, poijuilla ja kiinteillä turvalaitteilla osoitetaan erilaisia asioita maastossa kuten:

- Majakat ovat olleet väylän uloin turvalaite joka suuren kokonsa vuoksi on helppo havaita avomereltä
- Viitoilla ja poijuilla merkitään matalikkoja ja väyläalueita sekä väyläristeyksiä
- Tutkamerkeillä osoitetaan kääntöpaikkoja ja helpotetaan maaston lukemista tutkan kuvaruudulla
- Kummeleilla ja apuloistoilla helpotetaan maaston ja kartan lukemista valoisaan ja vastaavasti pimeään aikaan
- Sektoriloistoilla ja linjatauluilla helpotetaan navigointia väyläalueilla
- Kelluvilla erityismerkeillä voidaan osoittaa esim. luotsinottopaikkaa tai vesiläjitysaluetta

Kiinteät turvalaitteet ovat hyviä talvimerenkulussa, koska ne pysyvät näkyvissä eivätkä siirry jään liikuessa. Koska turvalaitteet on merkitty merikarttaan, voidaan niiden merkitys kulloisessakin paikassa päätellä.

Yleisesti esiintyviä perustamistapoja ovat kasuuni ja kartiokasuuni, junttapaalu ja kalliokaivoon perustettu paalurakenne. Muitakin rakenteita löytyy kuten kallioon ankuroitu betonipilareista koostuva kolmijalkarakenne. Merimerkit ja niiden perustukset ovat käytännössä betoni- tai teräsrakenteisia. Veteen rakennettujen majakoiden ja reunamerkkien vesisyvytydet vaihtelevat 4,0–16,5 m ollen keskimäärin 11,3 metriä.

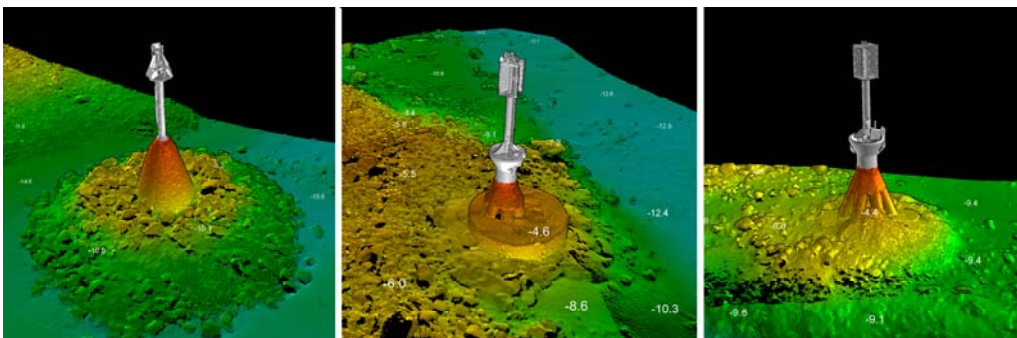
Keskeisimpiä rakenteiden vaurioitumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat jää, lämpötilanvaihtelut sekä veden korkeusvaihtelu ja aallokko. Merkkeihin törmänneet alukset ovat myös aiheuttaneet vakavia vaurioita.



Kuva 23. Reunamerkki

Jää vaikuttaa enimmäkseen liikkuvan jääkentän aiheuttamana paineena ja mekaanisena rasituksena. Ahtautunut jää voi vaikuttaa rakenteeseen syvälläkin veden alla. Pahimmillaan jääkuormat saattavat rikkoa merkin. Jatkuva jäätymis- ja sulamisprosessi vedenpinnan vaihtelualueella rasittavat betonirakenteita.

Itämeressä merivirtaukset ovat yleensä hitaita eivätkä käytännössä aiheuta eroosiota. Kasuunimajakoiden tai muiden rakenteiden yhteydessä, joissa on käytetty eroosiosuojausta merenpohjassa, on kuitenkin huomattava, että paikalliset tekijät voivat synnyttää virtauksia rakenteen ympäristössä. Merimerkit ovat yleensä matalikkojen yhteydessä, ja avomeren aaltojen tullessa matalaan niiden korkeus ja vaikutus kasvaa. Tämän seurauksena voimakas aallokko voi vaikuttaa eroosiosuojaukseen aiheuttamalla paikallisia virtauksia rakenteen ympärillä. Myös pohjaan asti ulottuva ahtojää voi liikkeessaan vahingoittaa eroosiosuojausta.



Kuva 24. Erilaisia reunamerkkien perustamistapoja

## 3 Rakenteiden vauriot

### 3.1 Yleistä

Rakenteiden vaurioitumiseen vaikuttavat sää- ja ympäristöolosuhteiden lisäksi myös eri rakenteille ominaiset käytön ja toimintojen aiheuttamat rasitukset. Ympäristö-rasituksilla tarkoitetaan erilaisten sääolosuhteiden kuten sateen, jäätyamisen, virtauksen, suolarasituksen, tuulen ja aallokon vaikutusta vaurioitumiseen. Käytön ja toiminnan aiheuttamilla vaurioilla tarkoitetaan eri rakennetyypeille ominaisten ja usein toistuvien toimintojen vuoksi syntyviä vauriomekanismeja. Tällaisia vaurioita aiheuttavat esimerkiksi toistuvat sulkuporttien aiheuttamat kovat virtaukset tai alusten rantaumisesta johtuvat mekaaniset rasitukset.

### 3.2 Sää- ja ympäristöolosuhteiden vaikutuksia

Rakenteet voivat sijaita erilaisissa ympäristöissä, joissa sääilmiöillä on eriasteinen kuluttava vaikutus. Vaikutus voi olla rakenteen kulumista tai sen materiaalien heikkenemistä eri syistä. Tärkeimpiä sää- ja ympäristöolosuhteiden vaikutuksia ovat tuuli, aallokko, virtaukset, jää / jäätyminen, sade, lämpötilavaihtelut sekä veden ominaisuudet ja suolarasitus.

**Tuuli** aiheuttaa harvoin suoranaisia vahinkoja vedenalaisille rakenteille. Sen sijaan se voi vaikuttaa merkittävästi esimerkiksi alusliikenteeseen ja rakenteeseen kiinnittyneenä oleviin aluksiin. Laituriin ja sulkuun saapuminen tai sillan alta tai muun vedenalaisen rakenteen läheltä kulkeminen voi olla tuulen takia vaikeaa, mikä voi johtaa aluksen törmäämiseen rakenteeseen. Rakenteessa kiinnittyneenä olevaan alukseen voi kohdistua merkittäviä tuulikuormia, ja silloin esimerkiksi fendereihin tai pollareihin voi kohdistua suuria voimia. Tämä yhdistettynä rakennusajankohtaa suurempiin aluskokoihin voi aiheuttaa ylikuormitusta ja vaurioitumista rakenteille.

**Aallokon** aiheuttamia vaurioita voidaan havaita etenkin avoimien tai tiheään liikennöityjen alueiden lähellä olevissa rakenteissa. Perinteisimpinä vaurioina ovat aallokon aiheuttama rakenteen kuluminen etenkin veden vaihtelualueella ja aallokon virtausvaikutuksen aiheuttama eroosio rakenteiden läheisyydessä. Suuri aallokko voi aiheuttaa lisäksi merkittäviä paineiskuja rakenteeseen ja kiinnittyneenä olevien alusten välityksellä tuulirasituksen aiheuttamien rasitusten kaltaisia ongelmia. Aallokon aiheuttama jatkuva liike kuluttaa voimakkaasti kiinnityskettinkejä ja liitososia. Merkittävästi aallokolle alttiit alueet on yleensä suojattu mm. aallonmurtajin.

**Virtauksen** aiheuttamia rasituksia esiintyy etenkin jokien, kanavien, säännösteltyjen vesistöjen ja saaristossa sijaitsevien salmien varrella olevissa rakenteissa. Luonnon virtaukset Suomen rannikolla ovat yleensä melko pieniä. Perinteisimpiä virtauksen aiheuttamia vaurioita ovat rakenteen kuluminen, jota voi esiintyä aallokon ja tuulen aiheuttamista rasituksista poiketen koko virtausrasitukselle alttiina olevalla rakenteen osalla. Vaikka virtaus vaikuttaa yleensä koko vedenalaiseen rakenteeseen, voi rasitus rakenteen muodosta riippuen kohdistua hyvinkin paikallisena tiettyyn rakenteen kohtaan. Rakenteen kulumisen lisäksi virtaus vaikuttaa rakennuspaikkaan aiheuttaen maa-aineksen siirtymistä ja eroosiota. Jää- ja hyydepadot voivat aiheuttaa



poikkeuksellisia virtausolosuhteita rakenteille, joissa normaaliolosuhteissa ei ole merkittävää virtauksen aiheuttamaa rasitusta. Jääpatoja muodostuu etenkin keväisin jäiden lähdön yhteydessä, hyhydepadot puolestaan tarvitsevat kovan pakkasen ja avointa virtaavaa vettä.



Kuva 25. Suuresta virtauksesta johtuva paikallinen eroosio välituella aiheutti sillan sortumisen

**Jää** voi vaikuttaa rakenteisiin useilla tavoilla. Virtauksen tai tuulen mukana liikkuva jää aiheuttaa törmätessään rakenteisiin mekaanista rasitusta, jonka vaikutusalue voi ulottua vesirajasta myös syvälle pinnan alle. Rakenteisiin kiinni jätynyt jääkansi aiheuttaa veden noustessa tai laskiessa huomattavia voimia, jotka aiheuttavat vahinkoa rakenteelle paikallisesti jäätymiskohdassa tai aiheuttaen liikettä koko rakenteen osalta. Veden jäätyminen ja laajeneminen rakenteessa ja halkeamissa puolestaan aiheuttaa suuria sisäisiä voimia ja näin ollen vaurioittaa rakennetta sisältä päin. Jäätymisen aiheuttamia vaurioita esiintyy pääosin veden vaihtelualueella ja pinnan yläpuolisilla alueilla.



Kuva 26. Jäiden kallistama sektoriloisto

**Lämpötilavaihtelut** aiheuttavat pakkasrapautumista jäätymis-sulamisilmiön vaikutuksesta. Pakkasrapautumista esiintyy veden vaihtelualueella ja kosteudelle alttiissa kohdissa, kun halkeamissa ja huokosissa oleva vesi jäätyessään laajenee. Lämpötilavaihtelut aiheuttavat lisäksi myös lämpölaajenemista/-supistumista, joka aiheuttaa rakenteisiin pääosin sisäisiä rasituksia. Lämpölaajeneminen voi aiheuttaa vaurioitumista myös, mikäli rakenteiden liikkeitä ei ole tarvittavilla toimenpiteillä huomioitu. Lisäksi ongelmia saattaa esiintyä esim. kiinnikkeiden löystymisenä jatkuvan supistumisen / laajenemisen vuoksi.

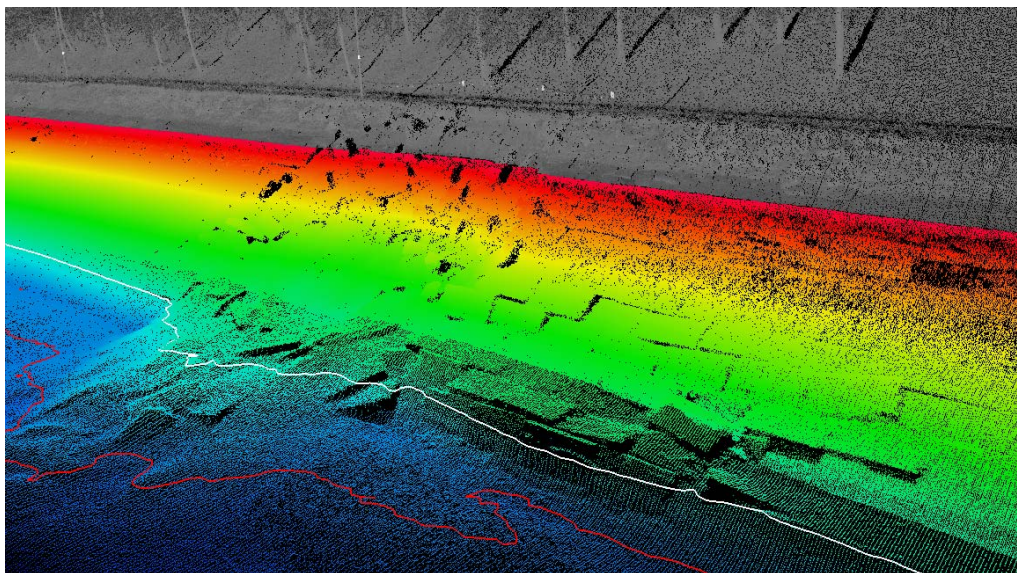
**Veden ominaisuudet** voivat aiheuttaa rakenteisiin merkittävää vaurioitumista. Etenkin meriveden vaikutukselle alttiina olevat kohteet joutuvat kovalle suolarasitukselle, joka vaikuttaa etenkin korroosion etenemiseen ja sen voimakkuuteen teräsrakenteissa ja rakenneteräksissä. Aallokon, tuulen ja vedessä olevan suolan yhteisvaikutus voi aiheuttaa suolarasitusta pitkienkin matkojen päähän vesirajasta. Mikäli rakenteisiin vaikuttava vesi on ominaisuudeltaan poikkeuksellisen hapanta tai emäksistä, voi rakenne syöpyä myös odotettua nopeammin. Teollisuuden kohteissa rakenteet saattavat altistua kemikaaleille, jotka edistävät rakenteiden vaurioitumista. Vesi/kosteus voi toimia myös vaurioitumisen laukaisijana ja aiheuttaa reaktioita rakennusaineissa ja näin heikentää rakennetta (esim. betonin alkalikiviainesreaktio).

## 3.3 Käytön aiheuttamat vaikutukset

### 3.3.1 Yleistä

Taitorakenteiden käytön vaikutusten merkittävyys vedenalaisiin rakenteisiin vaihtelee paljonkin erilaisten käyttötarkoitusten mukaan. Siltojen osalta kyseeseen voi tulla lähinnä vesiliikenteen vaikutukset kuten aluksen törmäminen rakenteeseen. Näin on käytännössä myös kiinteiden merimerkkien osalta. Siltojen ja merimerkkien kohdalla ympäristöolosuhteiden vaikutus on merkittävä.

Patojen ja lappojen osalta käyttö on veden juoksutusta tulvaluukkujen kautta ja mahdolliset vaikutukset kohdistuvat näiden lähistölle. Kanavarakenteiden ja laitureiden kohdalla käytön aiheuttamat vaikutukset ovat usein merkittäviä.



Kuva 27. Alusliikenteen aaltoilun seurauksena sortunut kivistä ladottu luiska

### 3.3.2 Laiturin käytön aiheuttamia vaikutuksia

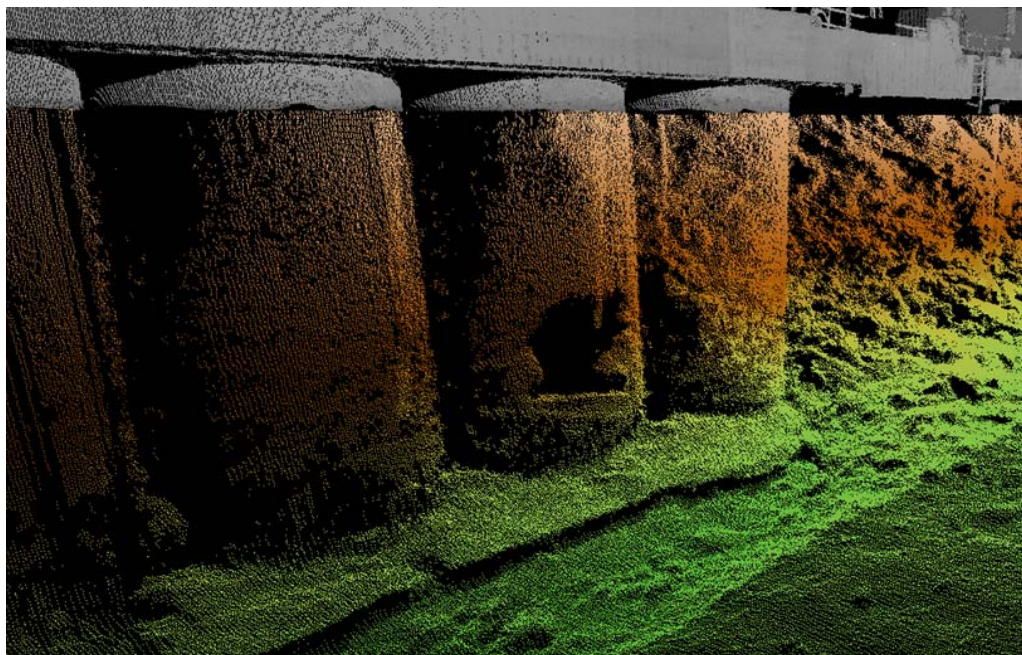
Alusliikenne ja laiturioperaatiot maissa voivat aiheuttaa vahinkoa rakenteille. Tässä yhteydessä käsitellään potkurivirtauksia, laiturin talvi- ja epätavanomaista käyttöä sekä laituri-toimintoja. Laiturirakenteille haitallisimpia virtauksia ovat alusten propulsiolaitteiden aiheuttamat virtaukset, kansanomaisesti potkurivirtaukset. Perinteisten potkureiden lisäksi nykyajan aluksissa on vesijettejä, 360 astetta kääntyviä potkurikoneistoja sekä potkuritunnelissa toimivia keula- ja sivupotkureita, joiden vaikutukset kohdistuvat hieman eri tavalla. Samoin alusten konetehot voivat olla huomattavan suuria siihen nähden, mikä oli tilanne laiturin suunnittelu- ja rakentamisajankohtana. Tästä voi syntyä merkittävää eroosiota tai sedimentaatiota rakenteiden lähistöllä, ja se voi olla huomattava riski.

Laitureiden talvikäytössä satamassa jäänmurtoa tekevän tai laituriin tulevan aluksen ja laiturirakenteen väliin jäävät jäälohkareet aiheuttavat riskitekijöitä. Jäitä poistetaan käyttämällä aluksen koneita normaalia voimakkaammin, jolloin voimakkaat potkurivirtaukset voivat aiheuttaa poikkeuksellista eroosiota pohjassa. Saatetaan jopa kiinnittyä ”väkisin” esim. vinssien voimaa apuna käyttäen laituriin, jolloin jään paine voi vahingoittaa rakennetta.



Laiturin epätavanomaisessa käytössä on kysymys esimerkiksi jostain toistuvasta toimenpiteestä, joka aiheuttaa paikallisesti vahinkoa. Usein varsinainen mekanismi on potkurivirtauksen vaikutus. Eräässä tapauksessa aina saman pollarin käyttö hinaajan konevoimalla tehtävään kääntämiseen aiheutti paikallisen eroosion, joka romahdutti laituria.

Laiturilla tapahtuva lastinkäsittely saattaa aiheuttaa ongelmia rakenteille, mikäli laiturin kantavuus ylitetään esim. mobiilin nostokaluston poikkeuksellisen käytön yhteydessä. Rakenteen kantavuus voi olla myös heikentynyt esim. taustatäyttöjen huuhtoutumisen takia, ja silloin saattaa muodostua vaarallinen yhdistelmä nostokaluston kanssa. Melko yleistä on myös lastin joutuminen laivan ja laiturin välistä veteen. Tämä ei välttämättä aiheuta rakenteille ongelmia, mutta saattaa madaltaa olennaisesti vesisyvyyttä tai aiheuttaa vaaraa alusten propulsiolaitteille.



Kuva 28. Todennäköisesti törmäyksen aiheuttama vaurio laiturirakenteessa

#### Sulkujen käytön aiheuttamia vaikutuksia

Sulkujen käyttöön liittyvät rasitukset johtuvat pääasiassa alusliikenteestä ja sulutus-tapahtumasta. Molemmat aiheuttavat virtauksia sulussa ja sen ympäristössä. Nämä virtaukset aiheuttavat eroosiota ja materiaalin kulkeutumista veden pohjassa. Paikoitellen sulkujen ylä- ja alasatamien yhteydessä on myös satamatoimintaa, jolloin laiturit ovat vastaavassa rasituksessa kuin satamalaiturit yleensä eli alusten kiinnittymistä ja lähtöjä laiturista sekä lastaus- ja purkutoimintaa.

Sulut on rakennettu yleensä entisiin koskipaikkoihin, joissa on luonnollisesti suuri korkeusero ja mahdollisimman hyödyllinen paikka sululle. Sulun ohi virtaava luonnollinen vesistö, kuten koski tai järjestetty ohijuoksutus patorakenteen kautta, aiheuttaa virtauksia, joilla voi olla vaikutusta sulun rakenteisiin tai sulkua käyttävien alusten navigointiin. Alusten navigointi haastavassa ympäristössä aiheuttaa kontakteja joh-teisiin ja sulun rakenteisiin, mistä voi olla seurauksena rakenteiden vahingoittumisia.

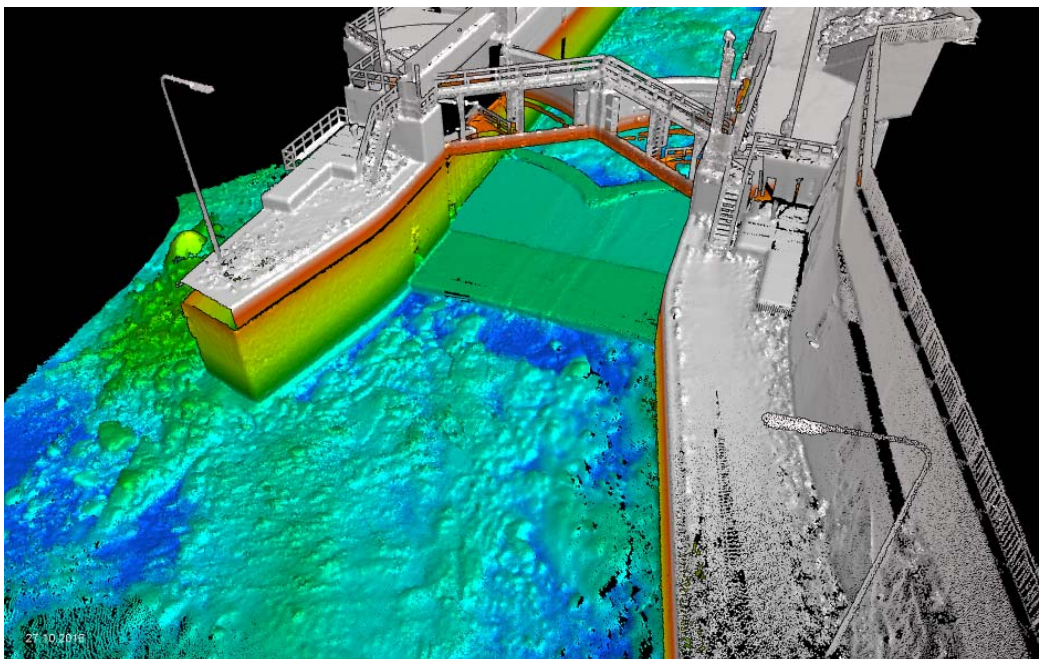
Sulkujen talvi käyttö, joka koskee lähinnä Saimaan kanavaa, aiheuttaa erityistä rasitusta rakenteille alusten ja sulku- ja kanavarakenteiden välissä olevan jään vaikutuksesta sen painuessa portteja ja muita sulkurakenteita vasten. Jään poisto on olennainen osa kanavien talviaikaista operointia.

Talvella kanavarakenteet voivat olla myös alttiita routimisen vaikutuksille, mikä saattaa aiheuttaa rakenteiden liikkumista. Vedenpinnan nousu ja lasku sulussa aiheuttaa pohjaveden virtausta sulkurakenteen takana ja sen läpi. Sillä voi olla rakenteita kuluttava ja niiden taustan eroosiota aiheuttava vaikutus esimerkiksi kivirakenteisissa sulkumuureissa.

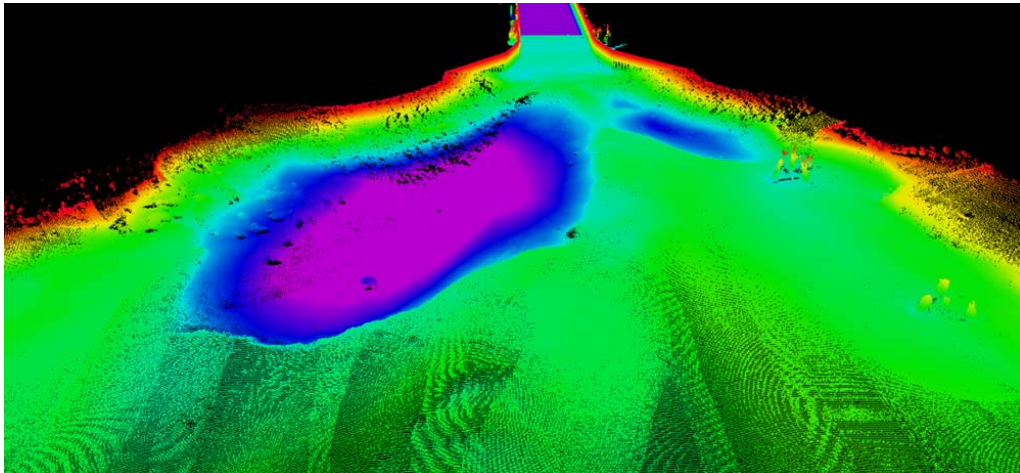
Monilla kanavareiteillä on harjoitettu puun uittoa ja pohjaan uponneet tukit ovat edelleen ja tulevaisuudessakin riskitekijä alusliikenteelle ja sulkujen toiminnalle.

Sulkuympäristössä tyypillisiä ilmiöitä, joilla on merkitystä sulkujen toiminnalla ja liikenteelle, ovat erityisesti:

- alusliikenteen vaikutuksia ovat alusten kiinnittymisen ylä- ja alasatamalaitureihin ja sulkuun menon ja sieltä poistumisen yhteydessä syntyneet kolhut rakenteissa
- sulkuun tulevan ja lähtevän aluksen koneita käytetään normaalia voimakkaammin, ja se aiheuttaa eroosiota ja materiaalin kulkua porttialueelle ja sulkukammioon. Tästä voi olla seurauksena väyläalueen mataloitumista tai eroosiosuojausten vahingoittumista.
- Sulutuksen aiheuttamien virtauksien eroosiovaikutus: Esimerkiksi sektoriporttien tapauksessa virtaukset alasatamassa voivat ulottua toteutettuja eroosiosuojauksia kauemmas ja sen vaikutus voi aiheuttaa vaaraa eroosiosuojaukselle ja varsinkin alasatamarakenteille.



Kuva 29. Sulun alapuolen epätasaista pohjaa



Kuva 30. Sulun tyhjentämisestä aiheutuvaa paikallista eroosiota alakanavassa

## 3.4 Materiaalien vauriot

### 3.4.1 Betonirakenteet

Betonirakenteiden vauriot ovat mekaanisia, kemiallisia tai fysikaalisia. Perinteisimpiä mekaanisia vaurioita ovat rakenteen ulkopuolisten tekijöiden kuten mm. kulumisen, törmäyksen, muodonmuutosten ja värähtelyn aiheuttamat vauriot. Kemialliset vauriot betonirakenteessa johtuvat puolestaan rakenteiden sisäisistä ominaisuuksista ja betonirakenteen eri ainesten reagoinnista keskenään. Tällaisia ovat esimerkiksi erilaiset kiviainesreaktiot. Fysikaalinen vaurioituminen johtuu esimerkiksi jäätymisestä/sulamisesta, lämpötilan vaikutuksesta, suolojen kiteytymisestä tai kutistumisesta.

Vesirakenteissa yleisimmin esiintyviä betonivaurioita ovat etenkin vedenvaihtelu-alueella havaittava pakkasrapautuminen (jäätymissulamisvaurio), betonirakenteen lohkeilu (törmäysvauriot), suolarasitukselle alttiina olevien rakenteiden raudoitteiden kloridikorroosio ja tästä johtuva lohkeilu ja halkeilu sekä valuvikojen aiheuttamat harvavalut.

**Rapautumaa** esiintyy lievimmillään rakenteen pinnan verkkohalkeiluna. Edetessään pidemmälle rapautuminen paljastaa karkeaa kiviainesta, joka johtaa korjaamattomana karkean kiviaineksen irtoamiseen ja rakenneterästen paljastumiseen. Rapautumista on useimmiten tavattavissa veden vaihtelualueella, jossa etenkin rakenteen jäätyminen ja sulaminen aiheuttaa rakenteelle erityisen kovaa rasitusta. Vesirajassa oleva rapautuminen on usein havaittavissa myös silmämääräisesti ja ongelmakohdat jatkuvat usein myös pinnan alle. Vedenalaisten rakenteiden vaurioiden havainnoinnin haasteena on kuitenkin usein rakenteen pinnassa kiinnittyneenä olevaa kasvustoa, virtauksen mukana tullutta materiaalia tai betonirakenteen pintaan rakentamisen yhteydessä jätetyt muotit.

**Raudoitteen korroosio** betonirakenteessa on lievimmillään havaittavissa yksittäisten liian pintaan jääneiden terästen ruostumisena. Pidemmälle edenneet vauriot määritellään rakenteiden kriittisyyden ja terästen korroosioasteen etenemisen mukaan. Raudoitteiden korroosio esiintyy alkuun betonirakenteen pinnassa havaittavana halkeamana. Vakavimmat korroosiovauriot ilmenevät raudoitteiden ruostumisen aiheuttamana lohkeiluna betonirakenteessa tai syvempinä raudoitteiden syöpyminä. Vesirakenteet ovat jatkuvassa kosteusrasituksessa ja etenkin suolarasitetut kohteet ovat



alttiita raudoitteiden korroosiolle. Merkittävimpiä korroosiolle alttiita alueita ovatkin etenkin veden vaihtelualueella ja suolasumulle alttiit kohteet. Haasteellisia tarkastuskohteita, joissa raudoitteiden korroosiota yleensä esiintyy, ovat esimerkiksi laituri-kansien ja siltojen alapinnat. Kohteet voivat olla liian matalia tarkastettavaksi veneel-lä ja kuitenkin pinnan yläpuolella aiheuttaen omat haasteet myös esimerkiksi sukelta-jille.



Kuva 31. Raudoitteiden korroosiota vesirajassa

**Halkeamat** betonirakenteissa johtuvat yleensä kutistumisen aiheuttamista sisäisistä vetojännityksistä, plastisesta painumasta, käytön aikaisista kuormituksista, terästen korroosion, törmäyksen aiheuttamista rasituksista tai rakenteiden ennakoimattomista liikkeistä (esim. painumasta). Halkeamien tarkastelu pinnan alla on myös yläpuolisia alueita haasteellisempaa. Pienikin rakenteen pinnassa sijaitseva kasvusto usein estää kapeiden halkeamien havaitsemisen. Vakavammat halkeamat ovat kuitenkin yleensä havaittavissa ilman erityistoimia ja suurista halkeamista on usein myös viitteitä muualla rakenteissa (esim. törmäysten aiheuttamat halkeamat rakenteissa).

**Valuvikojen ja lohkeamien** vakavuudet määritellään kyseisten vaurioiden sijainnilla ja niiden vaikutuksella kantavuuteen. Lievimät vauriot ovat yksittäisiä harvavaluja tai lohkeamia kantavuuden kannalta merkityksettömissä kohdissa. Vakavimmat vaikuttavat rakenteisiin kantavuutta heikentäen. Puutteellisesta betonin tiivistämisestä johtuvia valuvikoja voi esiintyä useissa rakenteen kohdissa. Yleisimpiä valuvikojen kohtia ovat työsaumojen ja rakenneliitosten liittymäkohdat, joihin tarkastusten yhteydessä tulee kiinnittää erityistä huomiota. Lisäksi virtaukset edesauttavat harvavalujen etenemisnopeutta verrattuna pinnan yläpuolisiin valuvikoihin. Lohkeamien yleisimmät esiintymiskohdat ovat vesirajassa ja alusten törmäyksille alttiilla alueilla. Lohkeamat voivat heikentää rakenteen kantavuutta itsessäänkin tai esimerkiksi paljastaa rakenneteräksiä alttiiksi vaurioitumiselle.



Kuva 32. Betonin rapautumista ja raudoitteiden korroosiota laiturin vesirajassa

### 3.4.2 Teräsrakenteet

Taitorakenteiden vedenalaisissa osissa käytettyjä teräsrakenteita ovat siltojen teräsputkipaalut, teräsmaalut ja ruostumattomat sekä haponkestävät teräsmanttelit, laitureiden teräsputkipaalut, pilarit ja teräsponttiseinät. Merimerkeissä esiintyy isoja teräsputkipaaluja, teräsvaippoja ja -kartioita. Kanavarakenteissa on teräsrakenteisia portteja ja porttirakenteita, liukuvien pollareiden rakenteita sekä betonirakenteeseen kiinnitettyjä suojarautoja, liukukiskoja, pollareita ja setti- ym. uria.

Teräsrakenteiden vauriot voidaan jakaa karkeasti rakenteellisiin vaurioihin sekä pintakäsittely- ja korroosiovaurioihin.



Kuva 33. Puhki syöpynyt teräsponttiseinä vesirajan tuntumassa

**Rakenteellisia vaurioita** ovat erilaiset kolhut ja taipumat. Kolhuja aiheuttavat alukset erityisesti sulkurakenteissa, merimerkeissä, mutta myös laitureiden teräsponttiseinissä. Seurauksena voi olla lommoja, halkeamia, hitsisaumojen repeämistä tai ponttiliitosten aukeamisia. Vääntymisiä voi aiheutua sulkuporttien rakenteiden väliin jääneistä jäälohkareista. Laitureiden ponttiseinissä havaittavat siirtymiset tai taipumiset voivat olla seurausta ympäröivän maaperän kantavuuden heikkenemisestä, taustatäyttöjen häviämisestä tai liian suuresta taustatäytön paineesta rakenteeseen.

**Pintakäsiteltyjä** vedenalaisia rakenteita on enimmäkseen merimerkeissä ja suluissa. Pintakäsittely vaurioituu usein mekaanisen rasituksen seurauksena. Alusten törmäykset ja kosketus pintakäsittelyihin teräsosiin rikkoo tai kuluttaa pintakäsittelyn puhki. Merimerkeissä pintakäsittely vaurioituu liikkuvien jäiden aiheuttamasta mekaanisesta rasituksesta. Kun pintakäsittely on kulunut tai vaurioitunut, teräsrakenne altistuu korroosiolle. Vaurioiden vakavuutta arvioidaan laajuuden perusteella (yksittäisiä, paikallisia, laajoja).



Kuva 34. Teräsrakenteisen kiinteän merimerkin korroosiovaurioita

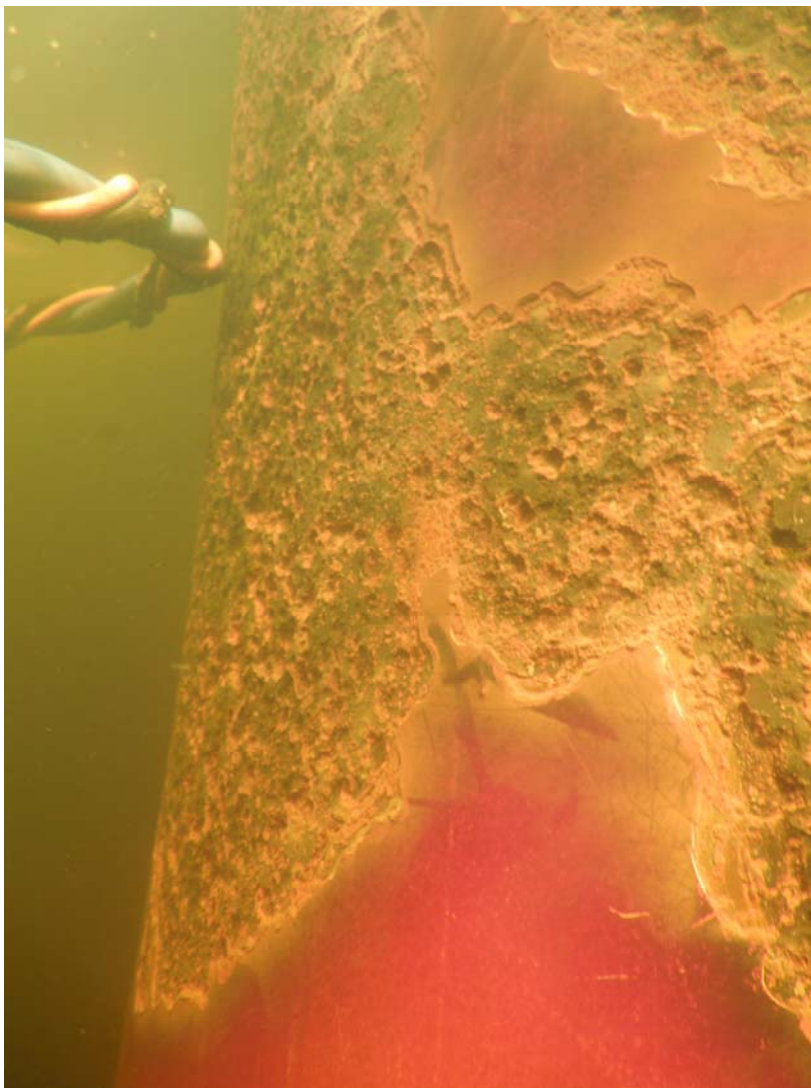
**Korroosio** käynnistyy pintakäsittelyn pettäessä. Teräksen epäpuhtauksien, veden ja hapen reagoidessa teräsrakenteen pinta alkaa syöpyä.

Jotkut rakenteet kuten teräsputkipaalut ja teräsponttiseinät ovat pintakäsittelemättömiä. Korroosio on otettu huomioon materiaalivahvuuksissa ja rakenteelle on arvioitu tietty käyttöikä kyseisenlaisessa ympäristössä. Tällöin rakennetta tarkkaillaan seuraamalla materiaalipaksuuden pienenemistä. Ponttiseinän ruostuttua puhki se mahdollistaa laiturin taustatäyttöjen valumisen mereen, jolloin laiturin kaikenlaiselle käytölle voi aiheutua vaaraa ja vakavaa haittaa.

Laitureiden teräsputkipilareissa on usein teräsbetoninen täyte ja putki, jotka toimivat valumuottina ilman, että sillä on merkitystä pilarin kantavuuteen, jolloin ruostuminen on enemmänkin esteettinen haitta. Tämä on kuitenkin varmistettava rakennussuunnitelmista ja muista rakennetta koskevista dokumenteista ja tarvittaessa näytteenotolla.

Korroosio on yleensä voimakkainta vesirajassa ja sen yläpuolella, mihin aallokko ja vedenkorkeusvaihtelun kohdistuvat. Suolavesi tai paikallisesti saastunut/hapeton vesi edesauttaa korroosion kehitystä. Myös jään aiheuttama mekaaninen kulutus lisää korroosiota, koska ruostuneen teräsosan pinnassa oleva, samalla myös materiaalia suojaava ruostekerros kuluu pois ja pinta on taas alttiimpi hapen ja kosteuden vaikutukselle.





Kuva 35. Teräsrakenteen syöpymää, kuopparuostetta, vedenpinnan alapuolella

### 3.4.3 Puurakenteet

Puu on ollut aikoinaan laitureiden pääasiallisena rakennusmateriaalina, ja puurakenteita on käytetty mm. siltojen välitukien paalutukina sekä kivitäytteisiä hirsiaarkkuja perustuksissa. Sisävesillä on käytössä paljon puisia hirsiaarkkuja ja puupaaluja matalaan veteen perustetuissa kiinteissä merimerkeissä.

Puurakenne säilyy yleensä hyvin, mikäli se on kokonaan veden alla. Vedenvaihtelualueella kyllästämätön puu lahoaa ilman suhteellisen kosteuden ollessa >90 % ja ilman lämpötilan +0- +40 °C. Veden virtaus, jäiden liikkuminen ja alusten törmäykset aiheuttavat rakenteisiin kulumista ja niiden murtumista.

### 3.4.4 Kivirakenteet

Kivi on kestävä materiaali. Kivistä on tehty siltoja ja tukimuureja ja monessa rakenteessa on kivirakenteisia osia kuten perustuksia, väli- ja päätytukia. Kiviverhousta on käytetty paljon muiden rakenteiden suojana ja ulkonäön parantajana, samoin luiskaverhoiluna.

Perustusten painuminen, rakenteen ylikuormitus ja saumauksien vaurioituminen aiheuttavat rakenteeseen muodonmuutoksia, mistä johtuvat veto- tai taivutusjännitykset saavat aikaan kivien halkeilua ja lohkeilua. Suuret pistekuormat, kuten alusten törmäykset, aiheuttavat kivien halkeilua, lohkeilua, siirtymistä ja irtoamista.

Vedenvaihtelualueella voi esiintyä pinnan irtoamista, kun vesi jäätyessä irrottaa kiven pintalustan. Kivien pinnan rapautuminen on sen sijaan harvinaista.

Saumausten vaurioitumista ja irtoamista aiheuttaa rakenteen muodonmuutoksista ja painumisesta sekä veden jäätymisestä veden vaihtelualueella.



Kuva 36. Kivirakenteen sortumista

#### 3.4.5 Eroosioauriot

Eroosion esiintymiselle ja kehittymiselle on tyypillistä, että ympäristötekijät tai rakenteiden käyttö aiheuttavat rakenteen lähellä eroosiota, joka vahingoittaa olemassa olevaa eroosiosuojausta rikkoen sitä vähitellen niin paljon, että eroosio alkaa vaikuttaa rakenteen toimivuuteen ja vakavuuteen.

Aina rakenteessa ei ole eroosiosuojausta, vaan rakenne on suunniteltu jo itsessään kestämään tietyn suuruisen eroosion. Tätä voimakkaampi eroosio vaikuttaa rakenteen kestävyteen.

Eroosio on haitallista erityisesti maanvaraisesti perustettujen rakenteiden yhteydessä. Useimmiten eroosion aiheuttaa tai eroosiota nopeuttavat voimakkaat virtaukset kuten potkurivirtaukset tai tulvavirtaamat. Myös aallokko aiheuttaa eroosioaurioita. Olennaista on rakenteeseen liittyvän maa-aineksen kulkeutuminen pois rakenteesta tai sen läheisyydestä.

Eroosion etenemiselle suojaustavasta riippuen on tyypillistä, että alkuun eteneminen eroosiosuojauksessa on hitaampaa kunnes jossain vaiheessa suojauskyky lakkaa ja eroosio pääsee vapaasti vaikuttamaan rakenteeseen.

Eroosiota tulee tarkastella pitkäaikaisena tapahtumana, joka voi nopeutua jossain vaiheessa olennaisesti voimakkaan ulkoisen vaikutuksen takia tai eroosiosuojauksen vahingoittuessa. Huuhtoutunut maa-aines voi levitä laajalle alueelle, jolloin vesisyvyyden mataloitumista ei tapahdu eikä tämäkään varoita muutoksista pohjassa. Näin voi käydä kun satama-altaan vesisyvyyksiä tarkastetaan tankoharaamalla, jolloin saadaan tieto vain mataloitumisesta.

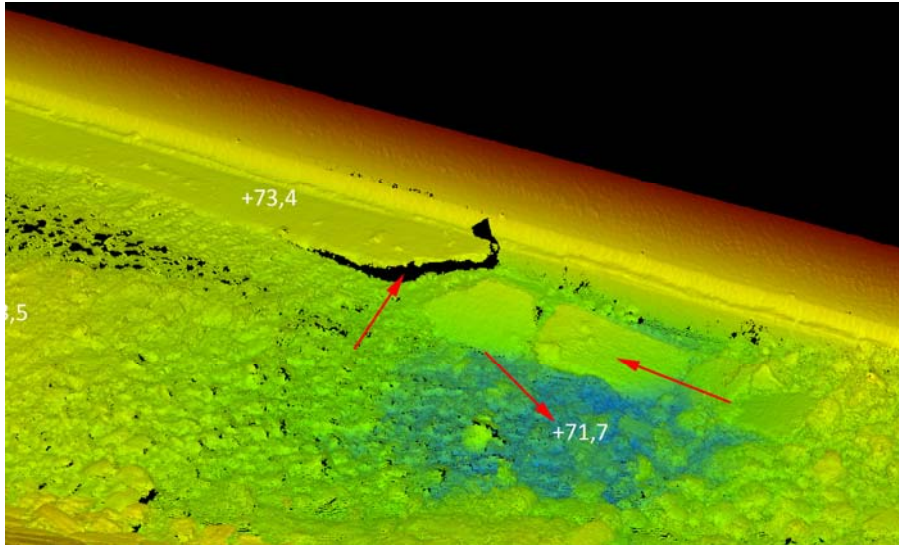
**Virtaava vesi** vaikuttaa koko rakenteeseen ja erityisesti poikkeavissa virtaustilanteissa, kuten kevättulvat, sen vaikutus kasvaa. Suomessa virtaavissa vesissä eli joissa ja jokisuistoissa on silta-, laituri ja rantarakenteita, jotka ovat alttiina eroosiolle. Virta kuljettaa hienompia ainesosia pois rakenteen ympäristöstä ja aiheuttaa vähitellen mahdollisten eroosiosuojausten murenemisen ja pettämisen. Seurauksena on pahimmassa tapauksessa rakennemuodon tai koko rakenteen sortuminen. Suomessa on tapahtunut silta- ja rantarakenne/laiturivaurioita tästä syystä.

Kanavien sulutus aiheuttaa eroosiota erityisesti alakanavassa, jossa virtaus voi myös suuntautua siten, että se vaikuttaa säännöllisesti johonkin osaan pohjaa tai rakenteita. Pohjan eroosio aiheuttaa vähitellen suojauksen murenemisen ja pettämisen, mikä jälkeen rakenteiden vakavuus voi vaarantua esimerkiksi taustatäyttöjen huuhtoutuessa pois rakenteen takaa. Ponttonilaitureiden ankkuripainot voivat siirtyä laituriin kohdistuvan virtauksen voimasta ja laituri siirtyy paikoiltaan.

**Potkurivirtaukset** aiheuttavat yleensä paikallisia eroosiovaurioita. Satamassa käyvät alukset käyttävät laituria varsinkin säännöllisessä liikenteessä siten, että ne kiinnittyvät ja lähtevät samasta paikasta, jolloin vaikutus kohdistuu toistuvasti samaan paikkaan. Tyypillisesti lautta- tai RoRo laitureissa vaikutus kohdistuu ajorampin läheisyyteen. Laiturista lähdettäessä koneita käytetään voimakkaammin ja maa-ainesta irtaoo pohjasta kulkeutuen virtauksen mukana rakenteen viereen tai laituripaikan ulkopuolelle, jossa aineksen sedimentoituminen voi aiheuttaa vesisyvyyden pienenemistä. Vastaavasti syntyy voimakkaammin eroosioitunut alue paikkaan, jossa laiva kiihdyttää vauhtiaan. Eroosioalue voi olla laaja ja jopa useita metrejä syvä. Tämä vaikuttaa usein aluksen vieressä olevan rakenteen eroosiosuojaukseen eroosion edettyä suojauksen alle. Suojaus vahingoittuu ja lopulta menettää toimivuutensa.

Eroosion tehoa lisäävät nykyaikaisissa aluksissa olevat tehokkaat propulsiolaitteistot kuten vesijetit, kääntyvät potkurikoneistot ja keulapotkurit. Laituri on suunniteltu aikanaan tietyn tyyppisille aluksille, konetehoille ja potkurilaitteistoille, jolloin eroosiosuojausten mitoitus voi olla nykyajan liikenteelle alimitoitettu. Maa-aineksen huuhtoutuessa eroosiosuojauksen alta eroosiosuojaus menettää toimivuutensa, ja laiturirakenteen toimivuus vaarantuu. Paalu- tai pilarilaitureissa laiturin alla oleva maaluiska on vaarassa valua potkurivirtausten aiheuttamaan eroosiokuoppaan, jolloin luiskan yläpää ei enää tue rakenteita.

Eroosio voi myös edetä laiturin vieressä olevan maaluiskan kautta laiturirakenteiden alle, jolloin laiturin alustäytöt huuhtoutuvat ja laiturin vakavuus voi heiketä vaikka laiturin edessä ei näyttäisikään olevan eroosiovaikutuksia. Esimerkiksi ponttiseinät lyödään yleensä kallioon jos mahdollista. Toisinaan ponttiseinän alapää on kitka- maassa niin syvällä, että sinne ei oleteta ulottuvan eroosiota. On kuitenkin todettu, että erityisesti keulapotkureiden aiheuttamat virtaukset voivat aiheuttaa erittäin voimakkaan paikallisen eroosion ponttiseinän vieressä, joka voi ulottua useiden metrien syvyyteen maa-aineksessa. Seurauksena ponttien alapäät paljastuvat ja rakenteen taustatäyttö alkaa huuhtoutua pois aiheuttaen lopulta vaaraa rakenteen vakavuudelle.



Kuva 37. Eroosiolaatan sortumaa

**Aallokko** vaikuttaa yleensä rakenteeseen lähellä vesirajaa. Alusten aiheuttamien aaltojen vaikutus voi olla hyvinkin voimakas esimerkiksi kanavaluiskiin. Luiskaverhouksen takana oleva maa-aines pääsee huuhtoutumaan pois, ja tästä aiheutuu eroosio-suojauksena toimivan verhouksen sortuminen ja entisestään kiihtyvä eroosio. Nykyään käytössä olevien alusten koko ja nopeus ovat kasvaneet, jolloin myös niiden muodostama aalto on isompi ja voimakkaampi kuin kanavan rakennusaikana.

Vastaava ilmiö on mahdollinen kaikkialla, missä vesiliikenne ohittaa erilaisia taitorakenteita. Paikoissa, joissa tuulen aiheuttama aallokko pääsee etenemään rakenteisiin voimakkaana seurauksena voi olla vastaava eroosiovaikutus. Merirakenteissa, jotka ovat huomattavan isojen aaltojen vaikutuksen kohteena, aallokko voi synnyttää voimakkaita virtauksia rakenteen ympäristössä, jolloin voimakas paikallinen eroosiovaikutus on mahdollinen.



## 4 Vedenalaisten taitorakenteiden tarkastaminen

### 4.1 Tarkastusjärjestelmä

#### 4.1.1 Yleistä

Taitorakenteiden vedenalaisten rakenteiden tarkastaminen kuuluu Liikenneviraston taitorakenteiden hallintajärjestelmään, jonka tarkoituksena on varmistaa rakenteiden liikenne- tai käyttöturvallisuus ja antaa riittävä kuva niiden kunnosta.

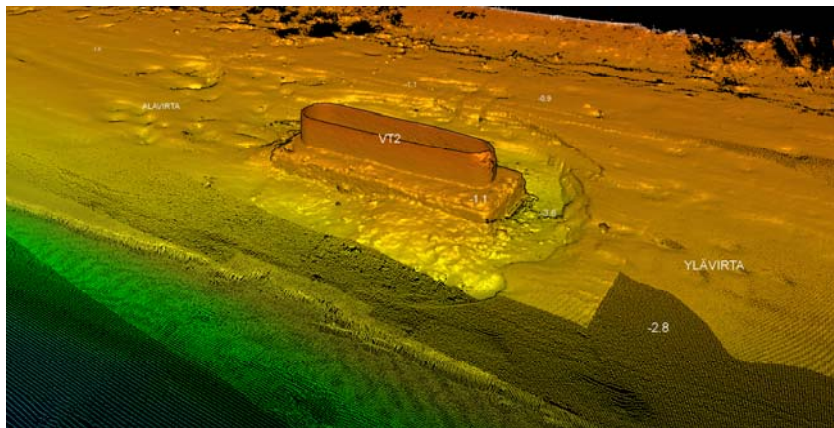
Vedenalaisten rakenteiden tarkastuksiin kuuluu neljä erityyppistä tarkastusta, joilla saadaan eritasoista tietoa rakenteiden kunnosta niiden hoitoa ja ylläpitoa sekä korvaus- ja laajennusinvestointien ohjelmointia varten. Tarkastuksia ovat: vastaanotto-, yleis- ja erikoistarkastus sekä tehostettu tarkkailu. Vedenalaisille rakenteille ei tehdä vuositarkastuksia vedenpinnan yläpuolella olevien taitorakenteiden tapaan.

#### 4.1.2 Tarkastusalue

Tarkastusmenetelmästä riippumatta tulee yleistarkastuksen alueen kattaa vesirajan yläpuolella veden vaikutukselle alttiina oleva alue vähintään siltä osin, kuin se jatkuu samanlaisena veden alle ja siitä voidaan tehdä arvioita myös vedenalaisesta osasta. Tarkastuksen tulee olla vähintään visuaalinen. Sitä olisi kuitenkin hyvä täydentää valokuvin tai muin tallentavin menetelmin, katso kohta 5.6.4, Laserkeilain ja muu täydentävä tieto veden päältä.

Pinnan alla tarkastuksen tulee kattaa kaikki rakenteet ja varusteet. Pinnan alla tarkastus ulotetaan rakennetta ympäröivään pohjaan ja rantaluiskiin siltä osin, kuin niissä havaittava eroosio voi vaikuttaa eroosiosuojauksen kuntoon tai rakenteen ja sen alla olevan maaperän vakavuuteen tai esimerkiksi rakenteen taustatäyttöjen pysyvyyteen tai sillä muuten katsotaan olevan merkitystä rakenteen toimivuuden ja turvallisuuden kannalta.

Vedenalaisten rakenteiden yleistarkastuksissa alueiden nimeämiseen ja sijaintitietojen määrittämiseen käytetään soveltuvin osin siltojen, kanavarakenteiden, laitureiden ja kiinteiden merimerkkien tarkastuskäsikirjoja.



Kuva 38. Virtauksen aiheuttamaa eroosiota peruslaatan edessä

#### 4.1.3 Vastaanottotarkastus

Vastaanottotarkastuksessa rakennuttaja vastaanottaa rakenteen rakennus- tai korjaustyön. Vastaanottotarkastus tehdään heti rakenteen valmistuttua tai viimeistään ennen rakennus- tai korjaustyön takuuajan umpeutumista. Tarkastuksen tarkoituksena on varmistua, että työt on suoritettu suunnitelmien ja laatuvaatimusten mukaisesti. Laatupoikkeamista seuraa poikkeamisten hyväksyminen arvonalennusperiaatteiden mukaisesti tai niiden korjauttaminen ja jälkitarkastukset.

Vastaanottotarkastukseen kuuluvan vedenalaisen työn teettää urakoitsija ja se sisältyy urakkaan. Tarkastus suoritetaan joko sukellustarkastuksena, skannaavalla kaiku-luotaimella tai monikeilaustarkastuksena. Tarkastusmenetelmän valintaan vaikuttavat rakennus- tai korjaustyön laajuus ja korjaustoimenpiteet. Vastaanottotarkastusmenetelmä kuvataan urakan laatuvaatimuksissa.

Työmaalla tehtävän vastaanottotarkastuksen lisäksi tilaaja tekee tai teettää **käyttöönottotarkastuksen**, jossa tarkastustiedot ja -dokumentit sekä ”näin tehty” suunnitelmapiirustukset viedään Taitorakennerekisteriin kuten muukin, vedenpinnan yläpuolella, vastaanottotarkastuksessa ja rakentamisessa syntynyt aineisto. Samalla määritetään seuraavan yleistarkastuksen ajankohta myös vedenalaisten rakenteiden tarkastukselle.

Nämä tiedot muodostavat pohjan rakenteen myöhemmälle kunnon tarkkailulle. Keskeisiä ovat suunnitelmakuvat, materiaalitiedot, työvaiheiden tarkastuspöytäkirjat mahdollisine mittausraporteineen. Yleensä rakenteiden sijainti ja dimensiot on tarkastettu, samoin perustamiseen liittyvät kriittiset toimenpiteet kuten pohjan tasaisuus ja tiiveys, eroosiosuojausten ja luiskaverhousten paksuus ja luiskan muoto, pohjan syvyystaso jne. Tiedon hankkimiseen voidaan käyttää kaikkia tässä ohjeessa mainittuja menetelmiä tapauskohtaisesti. Esimerkiksi vedenalaisten luiskien pohjan tasoa on monikeilattu ja vastaavasti laserkeilattu vesirajan yläpuolelta.

Vastaanotto- ja käyttöönottotarkastuksen tapainen toimenpide on myös vanhan rakenteen dokumentointi. Joskus historiatieto vanhasta rakenteesta on kadonnut tai on puutteellista. Esimerkiksi laituria on jatkettu tai siihen on lisätty rakenneosia vuosien varrella käyttäen kullekin aikakaudelle tyypillisiä rakenteita, jolloin kokonaisuus voi koostua erilaisista osista. Jotta rakenteesta on kunnossapitoa varten ylipäänsä pohjatiedot, tulee se kartoittaa ja dokumentoida niin veden päältä kuin veden altakin kaikin mahdollisin osin.

#### 4.1.4 Yleistarkastus

Vedenalainen yleistarkastus on säännöllisesti tehtävä tarkastus, jolla seurataan rakenteen kuntoa koko sen käyttöajan ajan. Vedenalaisten rakenteiden yleistarkastusten ajoitus riippuu rakenteesta ja ympäristön rasituksesta. Tarkastukset suoritetaan yleensä ainetta rikkomattomilla menetelmillä, joiden tarkoituksena on saavuttaa kokonaisvaltainen käsitys rakenteen kunnosta, vaurioista ja niiden sijainnista.

**Vedenalaisten taitorakenteiden tarkastusohje**

Yleistarkastusten ohjeellinen tarkastusten vaiheistus eri rakenteille, eri ympäristöra-  
situksessa, on esitetty taulukossa 1. Hyväkuntoisille rakenteille, tai ympäristössä, jos-  
sa on pieni rasitustaso, voidaan yleistarkastus suorittaa rakenteille 20–40 vuoden vä-  
lein. Sen sijaan huonokuntoisille rakenteille ja ympäristössä, jossa on voimakas rasi-  
tus, kuten voimakas virtaus ja jäiden lähtö sekä merialueilla, yleistarkastukset voi-  
daan määrätä tehtäväksi 10–20 vuoden välein.

Vesistöputkisilloille tehdään normaali yleistarkastus, kun vedenpinta on mahdolli-  
simman alhaalla. Sillalle tehdään vedenalainen yleistarkastus, jos vedenpinnan vaih-  
telualueella olevaa osaa ei ole voitu tarkastaa 10 vuoteen korkean vedenpinnan vuok-  
si.

*Taulukko 1. Yleistarkastusten vaiheistus*

Tarkastuskohde	Rakennetyyppi	Yleistarkastuksen tarkastustiheys (vuotta)		
		Rasitusluokat		
		1	2	3
Sillat	välituet, laattaperustus	10	20	-
	paalurakenteet	20	40	-
	kantamuurit	20	40	-
	päätytuet	20	40	-
	eroosiosuojaukset	10	20	-
	putkisillat	10	20	-
Kanavarakenteet	sulut	10	20	
	padot	10	20	
	avokanava	10	20	
	eroosiosuojaukset	10	20	
	lapot	10	20	
Laiturit / rantarakenteet	massiivilaituri	10	20	-
	ponttilaituri	10	20	40
	paalu-, pilarilaituri	10	20	40
	tihtaalit ja johteet	10	20	40
	ponttonilaituri	10	20	40
	ankkurikettingit ja painot	5	10	20
	luiskat / eroosiosuojaukset	10	20	40
Merimerkit	kiinteät merimerkit	20	40	-

Pinnan alle suoritettava yleistarkastus ei liity pinnan yläpuoliseen yleistarkastukseen,  
joka suoritetaan rakenteille yleensä 5-10 vuoden välein. Pinnan ylä- ja alapuoliset tar-  
kastukset suoritetaan toisistaan riippumatta.

Siltojen vedenalaiset rakenteet rasitusluokassa 3 tarkastetaan tarvittaessa, mikäli  
mahdollisia vaurioita on havaittavissa vedenpinnan yläpuolella esimerkiksi rakentei-  
den siirtyminä tai jos poikkeuksellisten ympäristö- tai olosuhderasitusten vaikutuk-  
sesta on syytä epäillä rakenteiden vaurioitumista tai vakautta sekä peruskorjausvai-  
heessa.

*Rasitusluokkien selitykset:*  
*sillat:*

- 1) Poikkeuksellinen ympäristörasitus (kova virtaus, tiedetty riskirakenne)
- 2) Suuri ympäristörasitus (kova virtaus, meriolosuhteet, eroosioherkkä perustus)
- 3) Pieni ympäristörasitus (ei merkittävää virtausta)

*putkisillat*

- 1) Poikkeuksellinen ympäristörasitus (kova virtaus, aggressiivinen vesi, tiedetty riskirakenne)
- 2) Suuri ympäristörasitus (kova virtaus)
- 3) Pieni ympäristörasitus (ei merkittävää virtausta, pohja tarkastettavissa kahlaamalla)

*kanavarakenteet*

- 1) Suuri ympäristörasitus (syväväylät)
- 2) Pieni ympäristörasitus (muut väylät)

*laiturit*

- 1) Suuri ympäristö- ja käyttörasitus (yhteysaluslaiturit ja vast. merellä)
- 2) Tavanomainen ympäristörasitus (syväväylän rakenteet, tavanomaiset meriolosuhteet)
- 3) Pieni ympäristörasitus (ei toistuvaa alusrasitusta, sisävesi)

*ankkurikettingit ja painot*

- 1) Suuri ympäristö- ja käyttörasitus (voimakas aallokko merellä)
- 2) Tavanomainen ympäristörasitus
- 3) Pieni ympäristörasitus (ei toistuvaa alusrasitusta, sisävesi)

*merimerkit*

- 1) Huomattavat rakenteet merellä, eroosioriski (merimajakat)
- 2) Huomattavat rakenteet merellä, (merimajakat, suurimmat muut merkit)
- 3) Tavanomaiset merkit

Määriteltyjen tarkastusten lisäksi yleistarkastus tulee suorittaa, mikäli rakenteisiin on kohdistunut poikkeuksellinen ympäristö- tai olosuhderasitus, jolla voi olla merkitystä rakenteiden toimivuuteen. Tällaisia voivat olla esimerkiksi alusten törmäykset, suuret ja poikkeukselliset tulvat, hyöde- tai jääpatojen aiheuttamat olosuhdemuutokset tai vastaavat ennalta arvaamattomat rasitukset.

Vedenalainen yleistarkastus tulee pääsääntöisesti suorittaa myös, kun rakenteelle ollaan suunnittelemassa peruskorjausta, ja mikäli vedenalaista tarkastusta ei ole aiemmin suoritettu. Merimerkkien osalta tarkastusta tulee harkita esimerkiksi väylän uudistamisen yhteydessä, jolloin varmistutaan väyläsuunnitelman vaikutuksilta rakenteille.

Yleistarkastus voidaan tehdä joko skannaavalla kaikuluotaimella, monikeilaamalla, sukellustarkastuksena rakennetyypistä ja tarkastuskohteen laajuudesta riippuen.

**Kuvaavat tarkastusmenetelmät** soveltuvat hyvin laajojen tarkastuskohteiden kunnan yleiskuvan saamiseksi esimerkiksi kanavarakenteiden, massiivilaitureiden, siltojen seinämäisten välitukien ja pohjan eroosioaurioiden tarkastamiseen. Joihinkin rakenteisiin kuvaavat tarkastusmenetelmät eivät puolestaan sovi, ja tarkastus suoritetaan sukellustarkastuksena tai muilla tarkastusmenetelmillä.



Tarkastuksissa voidaan myös yhdistellä erityyppisiä tarkastusmenetelmiä. Tarvittaessa yksityiskohtaisen tarkastustiedon saamiseksi, tehdään havaittuihin vaurio-kohteisiin sukellustarkastus käsietäisyydellä rakenteesta ja lisäksi voidaan suorittaa tarkastus kuvaavilla menetelmillä.

Vedenalaisten rakenteiden yleistarkastuksissa käytetään soveltuvin osin siltojen, kanavarakenteiden, laitureiden ja kiinteiden merimerkkien tarkastuskäsikirjoja.

#### **4.1.5 Erikoistarkastus**

Erikoistarkastus tehdään tarvittaessa korjaussuunnittelua ja rakenteen korjaamista varten. Erikoistarkastus voi myös koskea vain tiettyä rakenneosaa. Erikoistarkastuksessa tehdään yleistarkastuksen lisäksi mittauksia ja tutkimuksia sekä otetaan rakenteista näytteitä laboratoriotutkimuksia varten, joilla saadaan tarkempaa tietoa rakenteen kunnosta pintaa syvemmältä.

Erikoistutkimuksia ovat mm. teräksen ainevahvuuden mittaaminen ja betonirakenteen epäjatkuvuuksien, kuten halkeilun ja tyhjätilojen tutkiminen. Betonin puristuslujuuden määrittämiseksi ja betoniterästen sijainnin sekä betonipeitteiden määrittämiseen ei ole vedenalaiseen tutkimukseen tarkoitettuja laitteita, mutta vedenpinnan yläpuolella tehtäviin tutkimuksiin tarkoitettuja laitteita voidaan modifioida vedenalaiseen tutkimuskäyttöön soveltuvaksi.

Rakenteista otetuista näytteistä laboratoriossa tutkitaan tyypillisesti betonin veto- ja puristuslujuus, kloridipitoisuus sekä tehdään ohuthietutkimus. Puurakenteista otetaan tyypillisesti näytteitä kasvukairalla lahovaurioiden selvittämiseksi.

#### **4.1.6 Tarkastustulosten raportointi**

Tarkastuksen raportoinnin periaatteena on luoda selkeä käsitys tarkastuskohteesta, tarkastustyyppistä, rakenteen kunnosta, käytetyistä tarkastusmenetelmistä, mahdollisesti kohteeseen suositeltavista korjaustoimenpiteistä sekä seuraavasta tarkastusajankohdasta.

Havaintojen sijainnin määrittäminen suoritetaan tarkastettavasta rakenteesta riippuen Liikenneviraston olemassa olevien tarkastuskäsikirjojen mukaisesti, joissa on esitetty nimeämiskäytäntöjen perusteet tarkemmin eri rakenteille (Sillantarkastuskäsikirja, Kanavarakenteiden tarkastuskäsikirja, Laituritarkastuskäsikirja ja Kiinteiden merimerkkien tarkastuskäsikirja).

Vedenalaisesta tarkastuksesta tehdään kirjallinen raportti, jonka tulee tarkastustyyppistä ja menetelmästä huolimatta sisältävät vähintään seuraavat asiat:

- kohteen perustiedot ja yleiskuvaus
- tarkastuksen tavoite
- tarkastusmenetelmän kuvaus ja käytetyt välineet
- suositeltavat jatkotoimenpiteet

Tarkastustyyppistä riippuen raportin tulee lisäksi sisältää seuraavat asiat:

#### Käyttöönottotarkastus

- tarkastajan suorittama vertailu toteutuneen korjauksen ja suunnitelmien välillä
- havainnot ja huomiot (vaurioiden sijainti, laajuus ja vakavuusaste)
- ”näin tehty” -suunnitelmat tai 3D-mallit

#### Yleistarkastus

- havainnot ja huomiot (vaurioiden sijainti, laajuus ja vakavuusaste)
- toimenpide-ehdotukset
- toimenpiteiden kiireellisyys
- seuraava tarkastustyyppi ja ajankohta
- mahdolliset liitteet

#### Erikoistarkastus

- tiivistelmä
- tutkimustulokset ja niiden merkitys rakenteiden kuntoon
- johtopäätökset rakenteiden kunnosta ja korjaustarpeesta
- turvallisuutta ja kantavuutta vaarantavat tekijät
- toimenpide-ehdotukset
- toimenpiteiden kiireellisyys
- toimenpiteiden alustava kustannusarvio
- erikoistutkimusmenetelmien analyysit ja liitteet

Tarkastusten yhteydessä tuotettuja aineistoja/liitteitä, jotka tulee liittää kirjallisen raportin lisäksi lopulliseen tarkastusaineistoon, voivat olla esimerkiksi sukeltajan tuottamat valokuvat ja videomateriaali, eri mittalaitteiden (esim. ainevahvuusmittareiden jne.) mittaustulokset, kaikuluotaimella tuotetut pisteaineistot ja kuvamateriaali sekä mahdolliset aineistosta jatkokäsitellyt havainnekuvat, laboratoriotutkimustulokset ja muut dokumentit.

Soveltuvat tutkimustulokset, dokumentit ja valokuvat päivitetään Taitorakennerekisteriin tarkastuksen päätteeksi.

#### 4.1.7 Tehostettu tarkkailu

Rakenne voidaan asettaa tehostettuun tarkkailuun, kun se halutaan käyttää loppuun tai sen vaurioitumista halutaan seurata tehostetusti liikenne- tai käyttöturvallisuuden varmistamiseksi. Tarvittaessa rakenteelle voidaan asettaa kuormitusrajoituksia.

Tehostettuun tarkkailuun johtavat yleensä vauriot, joilla on vaikutusta rakenteen kantavuuteen. Tällaisia ovat mm. rakenteen muodonmuutokset, paikalliset eroosio- vauriot, siirtymät ja halkeamat, sekä paalujen ja tukiseinien rapautumat ja korroosio- vauriot.

Tehostettu tarkkailu suunnitellaan huolellisesti siten, että tarkkaillaan oikeita asioita, oikeilla menetelmillä ja oikea-aikaisesti. Tehostetussa tarkkailussa olevien vedenalaisten rakenteiden tarkastustarpeen voivat aiheuttaa esimerkiksi poikkeukselliset olosuhteet, kuten suuret vedenpinnan vaihtelut, voimakkaat virtaukset, tulvat ja jäiden lähtö sekä taustatäyttöjen huuhtoutumisvaara.

Tehostetun tarkkailun raportointi vastaa yleistarkastuksessa tuotettavaa raporttia.

## 4.2 Tarkastajien pätevyudet

### 4.2.1 Yleistä

Yleistarkastuksessa vedenalaisten rakenteiden tarkastusryhmään tulee kuulua ja tarkastuksesta vastata henkilön, jolla on Liikenneviraston vesirakenteiden tarkastajan ja/tai sillantarkastajan pätevyys. Sillantarkastajat voivat ohjata vesirakenteiden vedenalaisia tarkastuksia ja vesirakenteiden tarkastajat sillan vedenalaisten rakenteiden tarkastuksia. Vedenalaisten rakenteiden tarkastuksiin tulee aina osallistua vähintään kaksi henkilöä.

Erikoistarkastuksen tekemisestä vastaa ja sitä ohjaa henkilö, jolla on pätevyys toimia vesirakenteiden tai siltojen erikoistarkastuksen päätarkastajana.

### 4.2.2 Sukellustyö

Sukeltajalla tulee olla suoritettuna tarkastussukeltajan tutkinto (kevytsukeltajan tutkinto) tai ammattisukeltajan ammattitutkinto. Tarkastussukeltaja saa tehdä sukellustehtäviä enintään 30 m syvyydessä. Tätä syvemmällä tehtäviin tarkastuksiin vaaditaan ammattisukeltajan tutkinto.

Sukellusryhmään kuuluu pääsääntöisesti kolme henkilöä, kuitenkin vähintään kaksi, joilla toisella on oltava vesirakenteiden tai sillantarkastajan pätevyys. Kahden henkilön ryhmällä voi työskennellä helpoissa olosuhteissa ja yksinkertaisissa tarkastustehtävissä. Sukellusryhmän muodostavat nimetty sukellustyönjohtaja, joka voi toimia myös tarkastussukeltajana, tarkastussukeltaja ja sukellusavustaja.

## 4.3 Turvallisuussuunnittelu

### 4.3.1 Viranomaismääräykset ja -ohjeet

Vedenalaisten rakenteiden työturvallisuudessa noudatetaan Työturvallisuuslakia (738/2002) ja Valtioneuvoston asetusta rakennustyön turvallisuudesta (VNA 205/2009), sen soveltuvilta osin.

Siltojen tarkastuksissa noudatetaan Liikenneviraston laatimia Siltojen erikoistarkastusten työturvallisuusohjeita 29.9.2014 ja Radanpidon turvallisuusohjeita - TURO (LO 6/2015), joita noudatetaan vedenalaisten rakenteiden tarkastamiseen niiden soveltuvien osin.

Sukellustyö luokitellaan työntekijöiden turvallisuudelle ja terveydelle erityisiä vaaroja aiheuttavaksi työksi (Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta 26.3.2009/205/Liite 2). Rakennustyötä tekevän sukeltajan pätevyydestä ja turvallisuussuunnitelmasta on Valtioneuvoston asetus 20.20.2011/1088. Lisäksi sukellustyyöhön on laadittu Vedenalaisen rakentamisen ja tutkimuksen turvallisuusohjeet, Innofocus, Länsi-Uudenmaan aikuiskoulutuskeskus, Sukellusalan tutkintotoimikunta no 8015, 31.12.2007.

Vesialueilla tehtäviin tutkimuksiin, tarkastuksiin ja mittauksiin tulee myös selvittää mahdolliset lupamenettelyt. Vesillä liikuttaessa on noudatettava työturvallisuusmääräysten ja -lakien lisäksi myös yleisiä vesiliikenteeseen kohdistuvia lakeja. Vesillä liikkujalla on yleisiä velvollisuuksia, joita tulee aina noudattaa vesillä liikkuesssa.

#### **4.3.2 Tilaajan tehtävät**

Erikoistarkastus- ja sukellustyön suunnittelua sekä valmistelua varten tilaaja laatii turvallisuusasiakirjan, riskikartoituksen sekä turvallisuussäännöt ja menetelmäohjeet. Näissä asiakirjoissa esitetään tarkastustyön ominaisuuksista, olosuhteista ja luonteesta aiheutuvat vaara- ja haittatekijät sekä tarkastuksen toteuttamiseen liittyvät työturvallisuutta ja työterveyttä koskevat tiedot.

Yleistarkastuksesta tilaaja laatii turvallisuusohjeen.

#### **4.3.3 Toimittajan tehtävät**

Tarkastuksen toimittajan tulee aina laatia kohdekohtainen turvallisuussuunnitelma, jossa otetaan huomioon turvallisuusasiakirjan tiedot ja riskienhallintasuunnitelma, jossa esitetään tarkemmat vaaratilanteiden kuvaukset, riskeihin varautuminen ja toimenpide-ehdotukset, ennen tarkastuksen aloittamista.

Sukellustarkastuksen turvallisuussuunnitelmassa on esitettävä mm:

- työn ja työolosuhteiden sekä vesiliikenteen erityisvaatimukset
- työntekijöiden pätevyys- ja ammattitaitovaatimukset
- sukellusryhmän turvallinen kokoonpano
- käytettävät sukelluslaitteet ja muut työvälineet
- pelastautuminen, yhteydenpito, ensiapu ja muu toiminta onnettomuustilanteissa
- muut työntekijän terveyteen ja turvallisuuteen vaikuttavat tekijät

Tarkastajien turvallisuuspätevyysvaatimukset on esitetty tilaajan laatimassa turvallisuusasiakirjassa tai -ohjeessa sekä laissa ja asetuksissa.

#### **4.3.4 Turvallisuuden aloituskokous**

Turvallisuuden aloituskokous pidetään ennen erikoistarkastusta tai sukellustyöhön ryhtymistä. Kokouksen tarkoituksena on varmistaa, että toimittajalla on työn suorittamiseen riittävät edellytykset ja käydään läpi tilaajan laatima turvallisuusasiakirja sekä toimittajan laatima turvallisuussuunnitelma. Kokouksessa on oltava läsnä tilaajan edustaja, päätarkastaja ja sukellustyön johtaja sekä alukselta sukellettaessa tehtävään käytettävän aluksen päällikkö.

## 5 Vedenalaisten taitorakenteiden tarkastusmenetelmät

### 5.1 Skannaava kaikuluotaus

Kaikuluotaaminen perustuu äänisignaalien lähettämiseen ja vastaanottamiseen. Takaisin heijastuneen äänen etäisyyden määrittämisellä muodostetaan visuaalinen kuva tai pistemäinen havainto tarkastuskohteesta tai mitattavasta objektista. Mittaukseen vaikuttavia tekijöitä ovat mm. äänen etenemisnopeus, mittaustaaajuus, äänikeilan muoto ja aukeamiskulma, akustinen jalanjälki sekä kohteen muoto ja materiaali.

Akustisten laitteistojen hyötynä on tarkastusten suorittamisen mahdollisuus myös sameissa vesissä. Ääniaallot aiheuttavat liikettä veden (väliaineen) molekyyleissä, jolloin esimerkiksi vedessä olevat pienet hiukkaset eivät vaikuta mittauksiin liikkueen vesimolekyylien mukana.

Yleisimpiä tarkastustoiminnassa käytettäviä kaikuluotaimia ovat monikeilaimet ja erilaiset skannaavat kaikuluotaimet. Monikeilainlaitteistoilla mittaus suoritetaan veneen liikkeessä, joka mahdollistaa suhteellisen nopean aineiston keräämisen. Skannaavilla laitteistoilla mitattaessa luotaimet ovat useimmiten paikoillaan mittauksen aikana.

Skannaavia kaikuluotaimia käytetään muun muassa rakenteiden tarkastamiseen, pienimuotoiseen pohjatopografian kartoitukseen, sukeltajan ohjaamiseen sekä kadonneiden etsimiseen. Rakenteiden tarkastuksissa käytettyjen skannaavien kaiku-  
luotaimien toimintataajuus on tyypillisesti 700–2000 kHz.



Kuva 39. Skannaavan kaikuluotaimen asemointia siltakurjen avulla



**2D skannaavilla kaikuluotaimilla** tarkoitetaan tässä yhteydessä kaikuluotainlaitteistoja, jotka sijaitsevat paikoillaan mittauksen ajan ja ne tuottavat kuvia tarkastuskohteesta. Skannaavalla kaikuluotaimella tuotettava 2D kuva-aineisto koostuu useammasta mittauskohdasta kerättyjen kuvien yhdistelmästä ns. ”kuva-mosaikista”. Skannaaminen suoritetaan yleensä lauttaa tai henkilönostinta apuna käyttäen. Mahdollisuuksien mukaan työskenteleminen voidaan suorittaa myös jään päältä toimien.

Mittauksen aikana kaikuluotain on kiinnitettynä esimerkiksi putkesta valmistettuun varteen, joka sijoitetaan kiinteästi lautan kylkeen tai rakenteeseen. Skannaava kaiku-luotain ”pyyhkäisee” rakenteen sivun tuottamallaan viuhkamaisella äänikeilalla. Mit-taaminen suoritetaan yleensä n. 1–2 m:n etäisyydeltä rakenteeseen nähden.

Yksittäisen mittauspisteen aineiston keräämiseen tarvittava aika vaihtelee yleensä kymmenistä sekunneista muutamaan minuuttiin. Mittauskohdan tuloksina saadaan yksittäinen kuva, jossa syvyydestä ja olosuhteista riippuen voidaan havaita kohteita, joiden etäisyys mittapisteeseen on yleensä n. 5–20 m. Seuraavan mittauspisteen si-jainti määritellään aikaisemman kuvan ja rakenteiden muotojen perusteella. Vierek-käiset kuvat yhdistetään toisiinsa saavuttaen jatkuva kokonaisuus, jossa on esitettyä haluttu tarkastuskohde. Luotauskuvaan voidaan haluttaessa lisätä havaintoja, kom-mentteja tai esimerkiksi valokuva pinnan yläpuolisesta rakenteesta.

Mittaustekniikan hyvänä puolena voidaan pitää havainnollisten kuvien antamaa ko-konaiskäsitystä rakenteen yleiskunnosta. Monimuotoisten kohteiden mittaaminen ja kuvaaminen 2D projektiossa aiheuttaa tosin toisinaan lievää kohteen vääristymää, joka tulee ottaa huomioon kuvia tulkittaessa.

2D kuvien havaintotarkkuus koostuu useista tekijöistä, mutta yleensä aineistosta pys-tytään havaitsemaan pienemmillään noin 5–10 cm:n kokoluokkaa olevia vaurioita tai muutoksia rakenteessa. Kuvissa olevien havaintojen sijainti sidotaan yleensä raken-teissa olevien tunnettujen kohtien mukaan esim. etäisyytenä tuen kärjestä. Mittaus-pisteille voidaan myös tarvittaessa määrittää sijaintitieto, jonka avulla kuvissa esite-tyille havainnoille saadaan määritettyä myös desimetriluokkaa oleva sijainti.

2D skannaavaa kaikuluotainta voidaan käyttää etenkin rakenteiden yleiskunnon mää-rittämiseen ja kokonaiskuvan hahmottamiseen tarkastuskohteesta.

**3D skannaavan kaikuluotauksen** periaate vastaa pitkälti 2D mittausta. Mittaustyötä varten luotain kiinnitetään esimerkiksi putkivarteen. Skannaaminen suoritetaan ra-kenteesta riippuen yleensä n. 2–10 m:n etäisyydeltä mittauskohteesta. Luotaimen asemoinnissa haluttuun kohtaan voidaan käyttää apuna esimerkiksi nostinta, mit-tauksessa voidaan hyödyntää myös kohteen rakenteita. Suurimpana erona 2D mit-taamiseen on mittauspisteessä käytettävä aika.

Kohteen tarkastaminen suoritetaan yleensä useista mittapisteistä, joiden välinen ete-nemä määritellään rakenteiden muotojen ja olosuhteiden perusteella, ollen yleensä n. 5–15 metriä. Mittaustuloksina saadaan 3D-pistepilvi, joka koostuu tuhansista yksit-täisistä mittaushavainnoista.

Vierekkäiset pistepilvet yhdistetään sijaintitiedon perusteella yhdeksi, koko tarkas-tusalueen kattavaksi kokonaisuudeksi. Pistepilviaineistosta pystytään havaitsemaan pienemmillään noin 5 cm:n kokoluokkaa olevia vaurioita tai muutoksia rakenteessa.

Havaintotarkkuus on riippuvainen mittausaineiston pistetiheydestä ja mitattavan kohteen etäisyydestä luotaimeen. Yksittäisen mittauskohdan skannaaminen nykyisillä mittalaitteilla kestää yleensä kymmenistä minuuteista tuntiin riippuen tavoiteltavasta pistetiheydestä.

3D aineiston hyvänä puolena voidaan pitää tulosten mitta- ja sijaintitarkkuutta. Pinnan alapuoliseen luotausaineistoon on mahdollista tarvittaessa yhdistää myös pinnan yläpuolelta esimerkiksi laserkeilaimella tuotettu pistepilviaineisto, jolloin saadaan kattava tieto pinnan päällä ja alla olevasta rakenteesta.

3D skannaavaa kaikuluotainta voidaan käyttää etenkin rakenteiden ja rakennuspaikan yleiskunnon määrittämiseen, pienimuotoisten pohjatopografioiden kartoittamiseen ja tarkan mittatiedon tuottamiseen.

## 5.2 Monikeilaus

Monikeilausluotausta alettiin käyttää Suomessa 1990-luvun alussa kun ensimmäinen laitteisto hankittiin Suomeen Merenkululaitokseen. Tarkoituksena oli korvata aikaisemmin yleisesti käytetty linjaluotaus vesivälitutkimuksissa ja merikartoituksessa. Linjaluotauksessa luotauslinjojen väliin jää kartoittamatonta aluetta ja pohjan peitto näin vajavaiseksi. Monikeilain kerää yhdellä kertaa suuren määrän pisteitä ja pohjan peitosta tulee kattava.

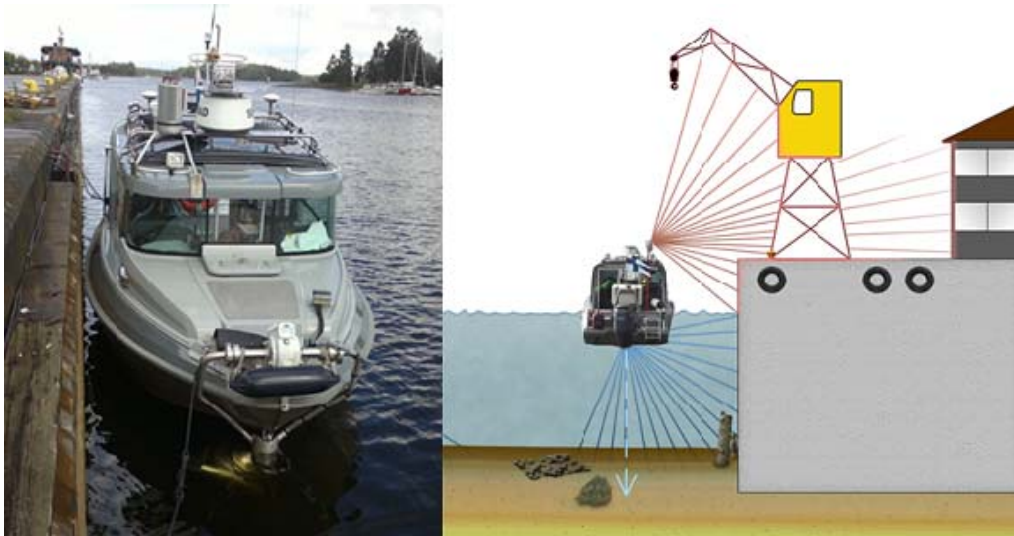
Monikeilaus on kaikuluotausta jossa vesisyvyydestä ja pohjan muodosta saatava tieto perustuu ääniaallon lähettämiseen, sen heijastumiseen kohteessa ja vastaanottamiseen luotaimessa. Äänen nopeuden ja sen kulkeman ajan perusteella lasketaan kohteen etäisyys. Monikeilain lähettää viuhkamaisen signaalin, jota kuuntelee usea kukin eri suuntaa kuunteleva vastaanotin (kuva). Merikartoitukseen tarkoitetuille monikeilainlaitteistoille on alusta lähtien ollut hyvinkin tiukat kansainväliset mittausnormit erityisesti syvyydeltänsä osalta.

Monikeilaimet ovat kehittyneet jatkuvasti erityisesti resoluutionsa eli erottelukykyyn suhteen. Nykyiset sonarit tuottavat yli 500 erillistä pistettä yhtä mittaussignaalia kohden. Kukin piste kattaa pienemmän alueen pohjassa kuin aikaisemmin eli erottelukyky on kasvanut. Mittaussignaaleja voidaan lähettää noin 50 sekunnissa. Tämä tarkoittaa, että 10–15 metriä syvässä vedessä yhdelle neliömetrille pohjaa voi osua satoja jopa tuhansia mittaushavaintoja. Syvemmälle mentäessä etäisyyden kasvaessa kohteeseen monikeilaimen erottelukyky heikkenee. Myös toimintataajuuden kohottaminen on parantanut erottelukykyä matalissa vesissä.

Tämä resoluution paraneminen on tehnyt mahdolliseksi käyttää monikeilaimia myös pienipiirteisempien kohteiden kartoittamiseen ja tässä tapauksessa vesirakenteiden kartoittamiseen. Vedenalaisten rakenteiden kartoittamiseen käytetään yleensä 400–700 kHz monikeilainluotaimia.

Monikeilainmittauksessa käytetty viuhkan avauskulma vaihtelee 140–165 astetta jolloin mittauskaistan leveys on noin 3–4 kertaa vesisyvyys. Mittauksen lopputuloksena saadaan kolmiulotteinen pistepilvi jossa jokaisella pisteellä on x, y ja z koordinaatit. Akustisessa mittausdatassa on erilaisia häiriöitä joita joudutaan jälkikäsitellyllä poistamaan. Monikeilaimessa on myös ominaisuus jolla saadaan tietoa pohjan kovuudesta paluukaiun voimakkuuden perusteella.

Edellä kuvattujen monikeilainten lisäksi on myös ns. interferometrisiä monikeilaimia, joiden mittaussignaalin käsittely tapahtuu eri tavalla ja niillä saadaan hyvinkin leveä pohjan peitto, jopa 7–10 kertaa vesisyvyys. Tämä tehostaa kenttämittaustapahtumaa. Haittapuolena on se, että syvyys eli kohteen etäisyystarkkuus heikkenee. Nämä ovat alun perin kehitetty mm. jokiuomien mittaamiseen. Toinen tuoteperhe on Real Time Multibeam (eli suoraan suomennettuna reaaliaikainen monikeilain) joiden tarkoituksena on antaa mahdollisimman hyvä reaaliaikainen kuva pohjasta tai kohteesta. Tässä tapauksessa selkeän kuvan aikaansaamiseksi on jouduttu suodattamaan häiriöitä mittauksen aikana jolloin yksityiskohtaisuudessa menetetään.



Kuva 40. Periaate veneellä suoritettavasta moni- ja laserkeilainmittauksesta

### 5.2.1 Monikeilainmittausjärjestelmä ja mittausprosessi

Monikeilaimesta puhuttaessa ei puhuta yksittäisestä mittalaitteesta vaan käytännössä mittausjärjestelmästä. Mittausten tekeminen edellyttää paikanmäärittystä joka on nykyään satelliitteihin perustuva. Parhaan tarkkuuden saavuttamiseksi käytetään RTK tai VRS paikannusta. Veneen heilumista kompensoimaan tarvitaan liikeanturi. Näiden lisäksi veneen alla on varsinainen monikeilainanturi. Kaikki nämä on yhdistetty mitaustietokoneen mittausohjelmistossa yhtenäiseksi kokonaisuudeksi jossa kunkin sijainti on tarkasti tiedossa ja jossa yhdistetään jokaisen anturin antama tieto hyvän mittaustuloksen aikaansaamiseksi. Koska lopulta mittauspisteiden paikat pohjassa ja rakenteissa riippuvat äänen nopeudesta tulee vielä mitata erikseen äänennopeus vesipatjan eri kerroksissa kyseisessä kohteessa mittaustöiden aikana. Tämä tehdään erillisellä veteen upotettavalla äänennopeusanturilla. Järjestelmään voidaan lisätä esim. laserkeilain jolla voidaan mitata ja dokumentoida vesirajan yläpuolista rakennetta.

Mittauslaitteistolla saadaan kerättyä valtava määrä mittauspisteitä. Rakennemittaukset ovat akustisilta olosuhteiltaan haastavia ja datan mukana tulee myös virheellistä tietoa joka joudutaan poistamaan datasta jotta se saadaan käyttökelpoiseksi. Käsittelyohjelmistoissa on automatiikkaa tätä varten mutta parhaaseen tulokseen päästään yleensä aineiston manuaalisella läpikäynnillä asiantuntijan toimesta.

### 5.2.2 Monikeilainmittauksen toteutus

Monikeilauksen luotausdatan tarkkuus vähenee etäisyyden kohteeseen kasvaessa. Tämän takia mittauksessa pitää päästä riittävän lähelle. Yleensä Suomessa päästään toimimaan 3–15 m etäisyyksillä jolloin data on niin hyvää kun se kyseessä olevilla laitteilla on mahdollista. syvemmissä kohteissa luotain pitää viedä syvemmälle esim. ROV (Remote Operated Vehicle) tai AUV (Autonomous Underwater Vehicle) laitteiden avulla kuten esimerkiksi offshore kohteissa tehdään. Kovin matalissa vesissä ei voida toimia laitteistojen rikkoutumisvaaran vuoksi. Samoin niiden tekninen käyttökelpoisuus laskee. Käytännössä alle kahden metrin vesisyvyyksissä joudutaan venekalustolla operoitaessa erityisjärjestelyihin ja noudattamaan suurta varovaisuutta.

Mittausta varten tehdään normaalit järjestelmää koskevat kalibroinnit ja testit jotta voidaan olla varmoja laitteiston toimivuudesta ja siitä, että se mittaa oikein.

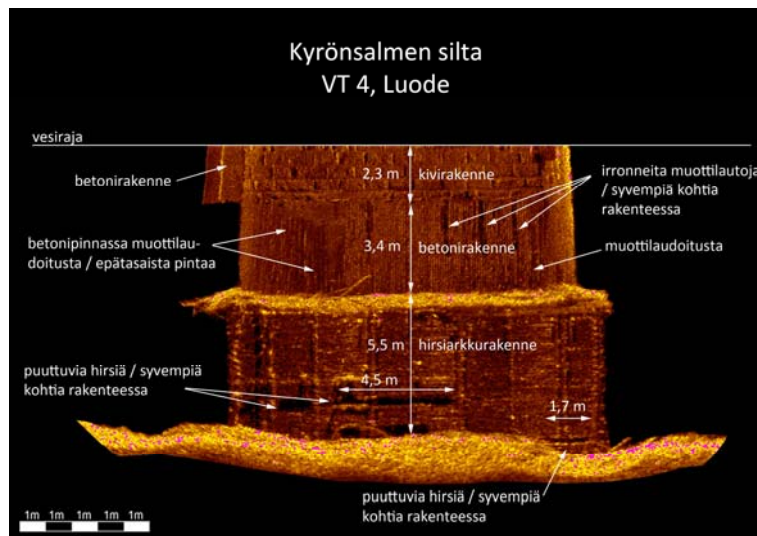
Mittaavan henkilöstön olisi hyvä tietää, minkälaisia rakenteita kohteessa on, jotta mittauksen ennakkosuunnittelu onnistuisi mahdollisimman hyvin. (Aina tämä ei ole mahdollista jos kohteesta ei ole säilynyt suunnitelma ym. tietoja.)

Luotain näkee sen pinnan joka on nähtävissä eli se ei mene materiaalin läpi eikä taivu nurkan ympäri ja tämä tulee huomioida jotta varsinkin monimuotoisilla laiturikohteilla saadaan mahdollisimman kattavasti data rakenteen eri kohdista.

## 5.3 Kaikuluotauksen dokumentointi

Tarkastustulosten raportointi kohdassa on esitetty mitä sisällöllisesti tulee olla eri tarkastusten raporteissa. Tässä luvussa esitetään asiat, jotka kaikuluotauksen yhteydessä dokumentoinnissa tulee ottaa huomioon. Kaikuluotausaineisto viedään Taitorakennerekisteriin rekisterin ohjeistamalla tavalla.

**2D-kaikuluotauksen** tulosten analysointi vastaa pitkälti sukellustarkastuksen yhteydessä tuotettua dokumentointia. Mittauksen kuvista kootaan yhtenäinen kuva-mosaiikki, josta tehdyt havainnot puretaan lisäksi kirjalliseen muotoon. Tarkastuksesta tulee toimittaa asiakkaalle vähintään kuvamosaiikiksi jatkokäsitellyt aineistot.



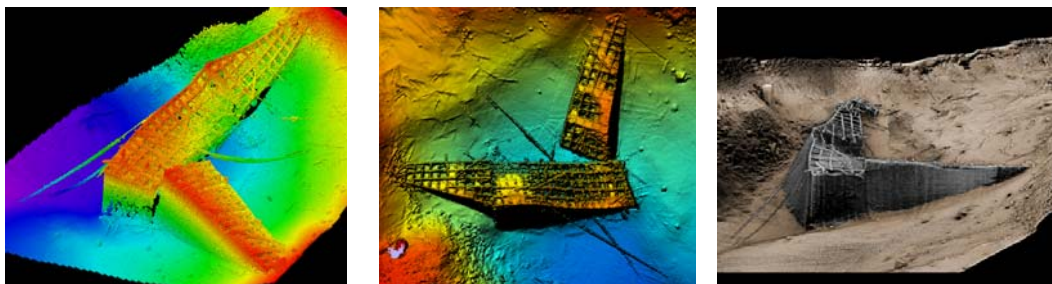
Kuva 41. Kaikuluotaukkuva kommentoituna

**3D mittausaineiston jatkokäsittely** ja sen hyödyntämismahdollisuudet ovat huomattavasti monimuotoisemmat. 3D aineistot (pistepilvet) mahdollistavat eri aikaan suoritettujen mittausten vertaamisen toisiinsa ja mahdollisten muutosten määrittämisen. Lisäksi aineisto mahdollistaa massalaskennan esimerkiksi eroosioalueilla tai täyttöjen yhteydessä, 2D CAD piirustusten, 3D CAD mallien tai BIM-mallien tekemisen. Eri-tyyppisen tärkeää on huomioida lähtötietojen kerääminen 3D muodossa, mikäli suunnittelu sisältää työvaiheita 3D ympäristössä.

3D-pistepilviaineisto tulee tarkastusten yhteydessä kerätä tarpeeksi tiheällä pistevälillä, joka mahdollistaa tulevaisuudessa aineistoa prosessoinnin mahdollisimman moneen käyttötarkoitukseen. Esimerkiksi syvyystiedon määrittämiseen riittää perinteisesti harvempikin pisteaineisto mutta rakenneanalyysyä varten mitattujen pistepilvien tulee olla merkittävästi tiheämpää. Tiheiden pistepilvien lisäksi aineistoista voidaan toimittaa myös valmiiksi tiettyyn ruutuun harvennettuja versioita.

Kaikilla 3D-pistepilven pisteillä on oma x-, y- ja z-koordinaatti, joka määrittää pisteen sijainnin. Toistuvien seurantamittausten mahdollistamiseksi ja aineiston tulevan mallintamisen ja hyödyntämisen vuoksi on erityisen tärkeää määritellä ja dokumentoida mittausaineiston koordinaatti- ja korkeusjärjestelmä. Tämä tieto esitetään kirjallisessa raportissa mutta todellisuudessa raportit eivät aina seuraa mitta-aineistoja loppukäyttäjille. Selkein tapa, jolla vältetään aineistojen vertailun yhteydessä virheellisten koordinaatti- ja korkeusjärjestelmien ongelmilta on nimetä toimitettava pistetiedosto niin, että siitä käy ilmi käytetyt järjestelmät ja mittauspäivämäärä.

Pisteaineistot voivat olla hyvinkin laajoja ja tiedostojen koot merkittävän suuria, jolloin tulee harkita mittausdatan pilkkomista pienempiin kokonaisuuksiin. Tosin laitteistojen ja tietokoneiden kyky käsitellä suuriakin mitta-aineistoja kasvaa nopeasti koko ajan.



Kuva 42. Kolme eri visualisointia samasta monikeilaindatasta

## 5.4 Sukellustarkastus

### 5.4.1 Sukellustarkastuksen tarve

Sukellustarkastus on perinteinen tarkastusmenetelmä ja se on ollut pitkään ainoa käytössä ollut menetelmä vedenalaisten rakenteiden tarkastamiseen. Sukellustarkastuksia tehdään itsenäisinä tarkastuksina sekä täydentämään muilla menetelmillä tehtyjä tarkastuksia tarvittaessa. Sukellustarkastusta käytetään ensisijaisena tarkastusmenetelmänä niiden rakenteiden tarkastamiseen joihin kuvaavat menetelmät eivät sovellu hyvin, kuten esim. paalulaiturien tarkastamiseen.



Sukellustarkastusta käytetään myös silloin, kun kuvaavilla menetelmillä saaduissa tuloksissa havaitaan vaurioita, joita halutaan tarkastella lähemmin käsietäisyydeltä. Vedenalaisen betonoinnin epäonnistuminen, betonin erottuminen, valuvikojen ja halkeilun laajuus sekä vaurioiden vakavuus voidaan varmistaa sukellustarkastuksella. Rakenteiden pinnassa on myös usein lietettä ja leväkasvustoa, joiden puhdistaminen on edellytyksenä vaurioiden havaitsemiseksi.

Vedenalaisena valuna tehdyn sillan peruslaatan ja virtapilarin liitoskohdassa on usein vaurioita ja niiden laajuuden selvittäminen edellyttää yleensä sukellustarkastusta. Sukellustarkastus soveltuu hyvin myös silloin, kun halutaan tarkastaa rakenteesta onnettomuuden kuten esimerkiksi laivatörmäyksen aiheuttamia yksittäisiä vaurioita.

#### **5.4.2 Tarkastussuunnitelma**

Sukellustarkastuksia suoritetaan hyvin erityyppisiin kohteisiin ja rakenteisiin olosuhteissa, joissa on huono näkyvyys, voimakas virtaus ja aallokko sekä vesiliikennettä. Tarkastukset tehdään aina ennalta tehdyn tarkastussuunnitelman mukaisesti.

Tarkastussuunnitelmassa esitetään mm.

- tarkastettava kohde
- päätarkastaja ja sukellusryhmä
- sukellusolosuhteet
- lähtötiedot
- tarkastettavat rakenteet
- tarkastusmenetelmät ja välineet
- erikoistutkimukset
- tarkastuksen aikaiset liikenteenjärjestelyt

*Siltojen* sukellustarkastuksissa on oltava yhteydessä vesialueen omistajaan ja selvítettävä onko sillan alta vesiliikennettä sekä sovittava toimintamenetelmät. Mahdollisesti tarvittavat liikenteenjärjestely ja liikenneturvallisuutta koskevat asiat ja vaatimukset esitetään myös tilaajan turvallisuusasiakirjassa.

*Laituritarkastuksissa* on sukellusryhmän varmistettava, että laituriosuudelle ei ole tulossa aluksia tarkastustyön aikana. Jos laituriin on kiinnittynyt alus, on tarkastustyöhön saatava lupa aluksen kapteenilta ja varmistuttava, ettei aluksesta ole vaaraa tarkastustyön aikana. Mikäli tarkastuskohde kuuluu VTS-keskuksen (Vessel Traffic Services) valvonta-alueeseen, on sukellustarkastustyöstä tehtävä ilmoitus paikalliseen VTS-keskukseen ennen töihin ryhtymistä.

*Kanavien ja sulkujen* sukellustarkastuksiin saa toimintaohjeet Liikennevirastolta tai ELY-keskuksesta kanavista vastaavalta.

Tarkastettavasta kohteesta laaditaan myös tilaajan turvallisuusasiakirja ja palvelun toimittajan turvallisuussuunnitelma sekä riskienhallintasuunnitelma työturvallisuusriskien kartoittamiseksi.

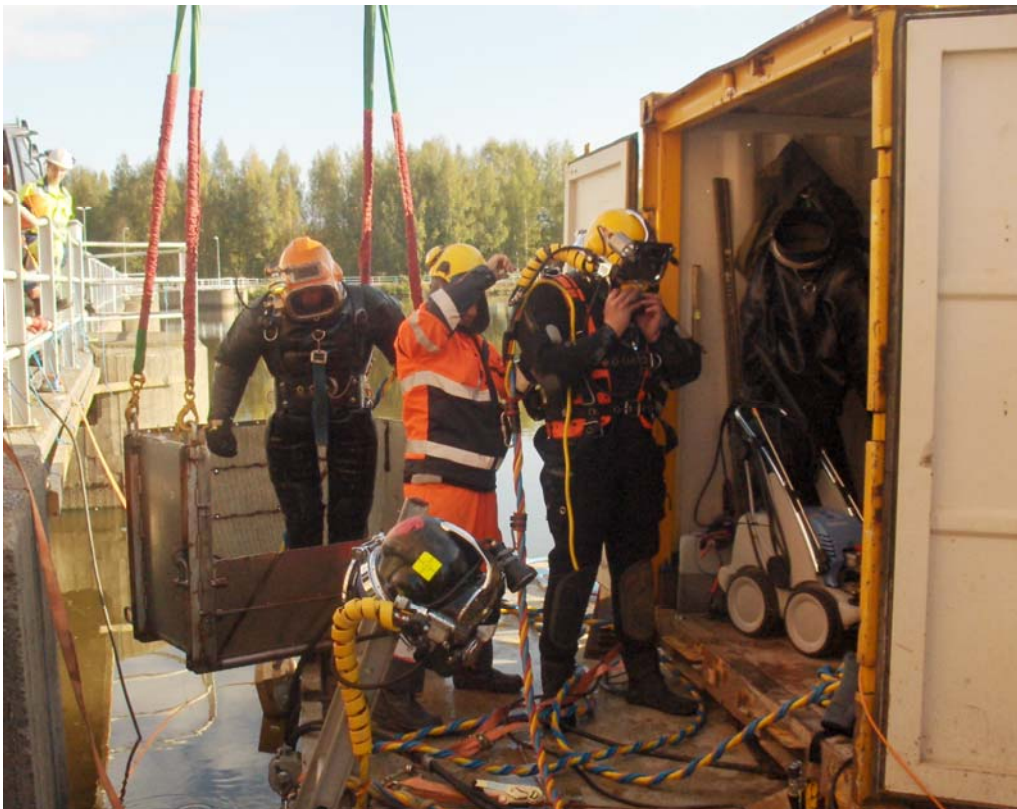
### 5.4.3 Tarkastusvälineet

#### *Sukeltajan varusteet*

Tarkastussukeltajat (kevytsukeltajat) voivat suorittaa sukelluksia enintään 30 m syvyyteen saakka ja käyttävät yleensä SCUBA (Self-Contained Underwater Breathing Apparatus) kevytsukellusvarusteita.

Avovesi ei lämpene Suomessa kuin pinnasta kesälläkään ja vesi on aina kylmää jo muutaman metrin syvyydeltä alkaen, joten tarkastussukelluksissa käytetään kuivapukua ja kokokasvomaskia jotka suojaavat kylmältä sekä myös mahdollisesti epäpuhtaalta tai saastuneelta vedeltä. Ammattisukeltajat käyttävät pääsääntöisesti sukelluskypärää, johon hengitysilma johdetaan pintailmaletkun kautta hengitysilmasäiliöstä ja -kompressorista.

Tarkastussukeltajan varusteisiin kuuluvat myös räpylät, painovyö, puukko ja sukellustietokone. Kokokasvomaski tai sukelluskypärä on varustettu mikrofonilla ja kuulokeilla yhteyspitämiseksi pinnalle.



Kuva 43. Sukeltajat valmistautumassa tarkastussukellukseen

#### *Tarkastusvälineet*

Sukellustarkastuksissa käytetään käsityökaluja, erikoistutkimusvälineitä sekä veden alla käytettäviä paineilmalla ja hydraulisesti toimivia työkaluja. Sukellustarkastamiseen liittyy myös paljon rakenteiden puhdistamista lietteestä ja leväkasvustosta, johon on varattava sopivia työvälineitä. Rakenteiden ja vaurioiden kuvaamiseen tarvitaan vedenalaiseen kuvaamiseen soveltuvia valokuva- ja videokuvauslaitteita sekä sukelluspuhelin yhteydenpitämiseen pinnalle.

Tyypillisiin käsityövälineisiin kuuluvat mm. sukellusvalaisin, kaapimet, teräsharjat, vasara, ruuvitaltta, sorkkarauta, mittakeppi varustettuna mitta-asteikolla ja tarvittaessa jäänaskalit.



Kuva 44. *Betonirakenteen vaurioitumista on havainnollistettu sukeltajan puukolla*

Erikoistarkastuksissa käytetään ainetta rikkomattomia (NDT) tutkimusmenetelmiä ja rakenteista otetaan näytteitä laboratoriotutkimuksia varten. Erikoistutkimuslaitteita ovat mm. ultraäänipaksuusmittari teräksen ainevahvuuden mittaamiseen ja ultraäänimittauslaite betonirakenteen epäjatkuvuuksien, kuten halkeilun ja tyhjätilojen tutkimiseen. Kimmovasara betonin puristuslujuuden määrittämiseksi ja betoniterästen sijainnin sekä betonipeitteiden määrittämiseen tarkoitetut mittauslaitteet voidaan modifioida tarvittaessa vedenalaiseen tutkimuskäyttöön käyttöön soveltuvaksi.

Betonirakenteista otetaan näytteitä laboratoriotutkimuksia varten paineilmalla toimivalla lieriötimanttikorakoneella. Paineilma toimivia käsiporia, vasaroita ja sahoja on myös saatavilla. Puurakenteista otetaan näytteitä kasvukairalla.

Laboratoriossa betonirakenteista otetusta poranäytteistä tutkitaan yleensä puristus- ja vetolujuus ja mahdollisesti kloridipitoisuus sekä tehdään betonin mikrorakenetutkimus (ohuthietutkimus).

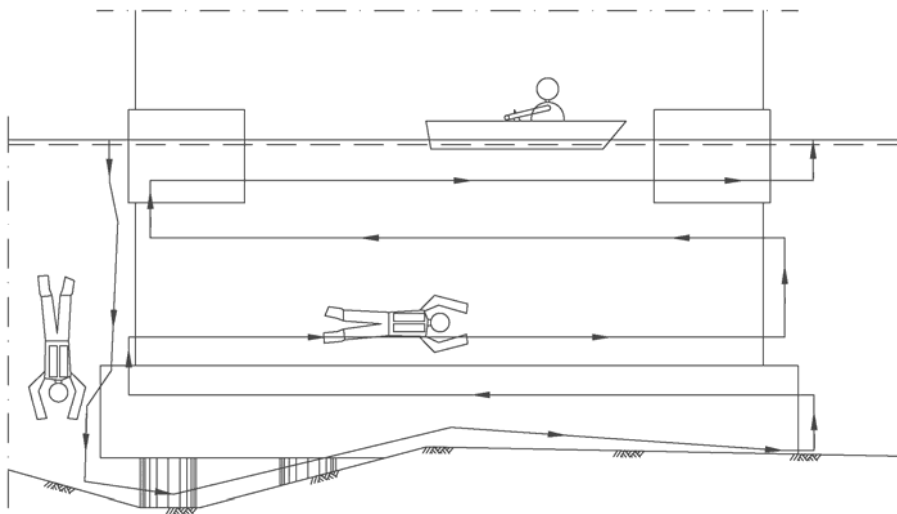
Vedenalaisten rakenteiden tarkastukset suoritetaan tyypillisesti veneestä tai työlautalta. On myös kumiveneitä jotka soveltuvat tarkastussukellus käyttöön. Veneen tai lautan on oltava varustettu moottorilla. Tärkein kriteeri veneen tai lautan valinnassa on, että siinä on tarpeeksi tilaa kaikille sukellusvarusteille ja henkilöille, sekä että se on soveltuvan kokoinen kyseisiin vesistöolosuhteisiin. Työolosuhteet on oltava turvalliset niin sukellusavustajalle kuin tarkastussukeltajalle. Sukellustyön aikana on sukelluslippu oltava veneessä tai työlautalla näkyvissä.

#### 5.4.4 Tarkastusmenetelmät

Sukellustarkastus perustuu pääasiassa näkö- ja tuntohavaintoihin sekä mittauksiin. Käsietäisyydellä tehtävien tuntohavaintojen merkitys korostuu kohteissa, joissa on huono näkyvyys veden laadusta johtuen. Vakiotarkastusvälineisiin kuuluvalla kaavinraudalla voidaan puhdistaa rakenteen pintaa ja vasaralla koputtelemalla etsiä betoni- ja puurakenteiden vaurioita.

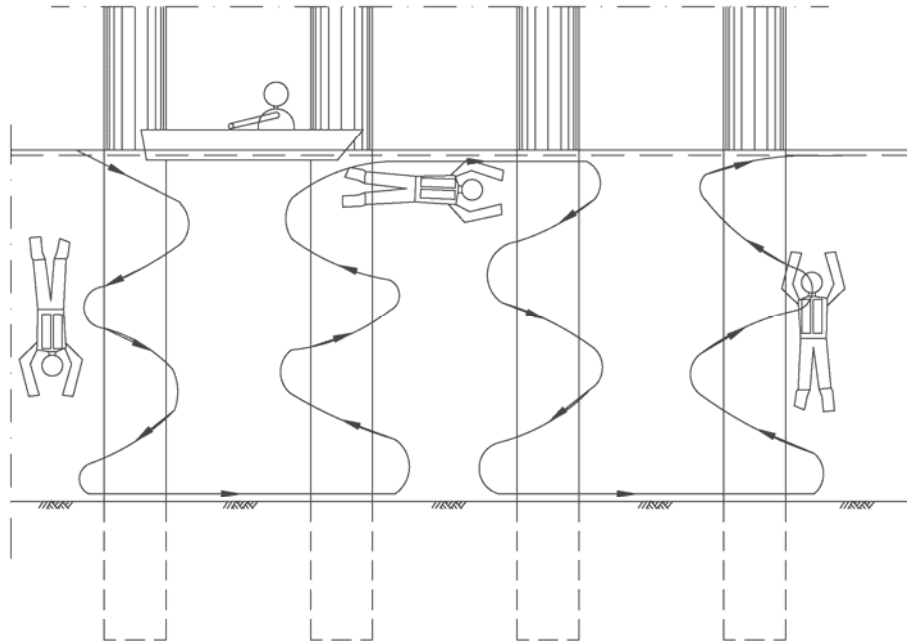
Tarkastus aloitetaan pintauinnilla ja sukeltamalla yleissilmäys kohteeseen, jolloin sukeltaja hahmottaa rakenteen ja paikallistaa mahdolliset ennalta arvioidut vauriokohdat rakenteesta. Tämän jälkeen rakenne tarkastetaan silmämääräisesti ja tuntohavaintoja käyttäen systemaattisesti kiertäen koko rakenne.

Seinämäisten tukien, kuten virtapilarien ja maatukien tarkastus aloitetaan pohjalta kiertämällä perustukset ja tarkastetaan rakenteiden sekä pohjan liittymäkohdat. Tämän jälkeen siirrytään rakenteessa käsivarren mitta ylöspäin ja kierretään rakenne järjestelmällisesti uudelleen. Tämä kuvio toistetaan, kunnes tarkastus on suoritettu. Välttääkseen sotkeutumasta turvaköyteen ja sukelluspuhelimien kaapeliin seinämäiset välituet tarkastetaan ensin toiselta puolelta ja siirrytään siten toisella puolelle tukea. Tukimuurit tarkastetaan samalla periaatteella.



Kuva 45. Kuvaus sillan seinämäisen välituen tarkastamisesta

Pilarit ja paalut tarkastetaan aloittamalla tarkastus ensimmäisen pilarin vesirajasta, laskeudutaan pohjalle, siirrytään seuraavalle pilarille ja nouseaan ylöspäin. Kuvio toistetaan järjestelmällisesti, kunnes tarkastus on suoritettu. Pilarit tarkastetaan liikumalla pilarin toiselta puolelta toisella siten, että turvaköysi ja puhelinkaapeli pysyvät vapaana.



Kuva 46. Kuvaus pilareiden ja paalujen tarkastamisesta

Laiturit ja sulut ovat hyvin monimuotoisia rakenteita ja niiden tarkastusmenetelmä suunnitellaan huolellisesti etukäteen rakennepiirustuksia apuna käyttäen ja kuvataan tarkastussuunnitelmassa. Yleisimmät kanavarakenteet ovat kuvattu kappaleessa 2.2 ja laiturit, lauttapaikat ja rantarakenteet kappaleessa 2.3.

#### 5.4.5 Dokumentointi

Rakenteiden vauriot mitataan ja paikannetaan tarkasti siten, että ne ovat kuvattavissa suunnitelmapiirustuksiin. Laajempien vaurioiden ja rakenneosien mittauksissa voidaan tarvita kahta sukeltajaa. Suunnitelmapiirustuksiin tehtävän vauriokartan lisäksi vauriot valokuvataan. Tarkastettavat rakenteet ja vauriot voidaan kuvata myös videokameralla, mikäli näkyvyys on riittävän hyvä hyvälaatuisen videokuvan saamiseksi. Videokuvaukseen sukeltaja selostaa reaaliaikaisesti rakenteet, kuvauskohdan sijainnin rakenteessa ja vauriot. Videotallenne editoidaan kuvauksen jälkeen tilaajan käytettäväksi. Erityisesti on huolehdittava, että kaikissa vauriokirjauksissa ja kuva- tai videotallenteissa ovat tarkat sijaintitiedot.

Sukellustarkastusten aineistojen jatkokäsittely ja dokumentointi koostuu tarkastuksen aikana tehtyjen muistiinpanojen ja havaintojen puhtaaksi kirjoittamisesta/piirtämisestä. Lisäksi tarkastajan tulee analysoida tuotetut video- ja kuvamateriaalit sekä mittaustulokset ja yhdistää kaikki kirjalliseksi raportiksi sekä tarvittaviksi liitteiksi. Sukellustarkastusaineisto viedään Taitorakennerekisteriin rekisterin ohjeistamalla tavalla.



## 5.5 Tarkastusmenetelmien vertailua

Tarkastusmenetelmien valinnalla on suuri merkitys tarkastusten lopputuloksiin. Oheisessa taulukossa 2 on esitetty eri tarkastusmenetelmien soveltuvuutta erilaisiin kohteisiin. Vertailulähtökohtana on mietitty kohteiden perusominaisuuksien kuten laitteistojen ominaisuuksien, olosuhteiden, laajuuden, rakenne- ja vauriotyyppien sekä tarkastustulosten hyödyntämismahdollisuuksien vaikutusta tarkastusmenetelmän valintaan. Taulukossa XX-, X- ja O-merkinnät ilmaisevat kyseisin menetelmän soveltuvuutta tarkastuskohteeseen.

*Taulukko 2. Tarkastusmenetelmien soveltuvuus eri kohteissa (XX-soveltuu hyvin, O-ei sovellu)*

Tarkastuskohde	Rakennetyyppi	Tarkastusmenetelmä			
		moni-keilaus	skannaava kaikuluotaus		sukellus-tarkastus
			2D	3D	
Sillat	massiiviset välituet	XX	XX	X	XX
	paalurakenteet	X	O	X	XX
	kantamuurit	XX	X	X	XX
	päätytuet	XX	X	X	XX
	eroosiosuojaukset	XX	X	X	X
	putkisillat	O	O	X	XX
Kanavarakenteet	sulut	XX	X	X	X
	padot	XX	X	X	X
	avokanavat	XX	X	X	X
	eroosiosuojaukset	XX	X	X	X
	lapot	O	O	X	X
Laiturit / rantarakenteet	massiivilaituri	XX	X	X	X
	ponttilaituri	XX	X	X	X
	paalu-, pilarilaituri	X	O	X	XX
	tihtaali	X	O	X	XX
	ponttonilaituri	X	O	O	XX
	luiskat / eroosiosuojaukset	XX	X	X	X
Merimerkit	kiinteät merimerkit	XX	O	X	XX

**Skannaava kaikuluotaus** soveltuu pääosin kohteisiin, joissa mittausalueen laajuus on kohtuullinen mittauksen tapahtuessa nostimia, lauttoja tai rakenteita hyödyntäen. Laitteiston kiinnittäminen rakenteisiin tai nostimeen mahdollistaa esimerkiksi virtaavien kohteiden tarkastamisen, missä veneen turvallinen hallinta tai sukeltajan toiminta ei olisi mahdollista.

Veden sameudella ei kaikuluotauksessa ole merkitystä mittaustuloksiin mutta vedessä olevat ilmakuplat puolestaan häiritsevät mittaamista. Tämä tulee ottaa huomioon esimerkiksi koskialueiden läheisyydessä suoritettavien kohteiden tarkastuksissa. Yleisimmin kaikuluotauskohteissa tulisi olla vettä vähintään n. 1,5 m.

Skannaavilla luotaimilla pystytään suorittamaan mittauksia parhaiten esimerkiksi silta, laituri- ja kanavarakenteisiin. Mikäli kohteet ovat laajoja, voidaan mittaukset

**Vedenalaisten taitorakenteiden tarkastusohje**

suorittaa vain kohdennetuille alueille. Kilometrien laajuisten kohteiden mittaaminen kokonaisuudessaan skannaavalla laitteistolla on aikaa vievää ja näin ollen ei välttämättä kustannustehokkain vaihtoehto.

**Monikeilaaminen** on nopea tapa tutkia ja dokumentoida isojaakin kokonaisuuksia ja näin se soveltuu hyvin yleiskuvan hankkimiseen kohteesta. Dataa analysoitaessa saadaan tietoa rakennetyypeistä, merkittävämmistä näkyvistä vaurioista sekä kohteista joissa tarkemmat sonar, video tai sukellustutkimukset voivat tulla kyseeseen. Veden sameus ei vaikuta mittaukseen ja työtä voidaan tehdä myös sukeltamiseen vaarallisissa paikoissa (virtaus, rakenteen sortumavaara).

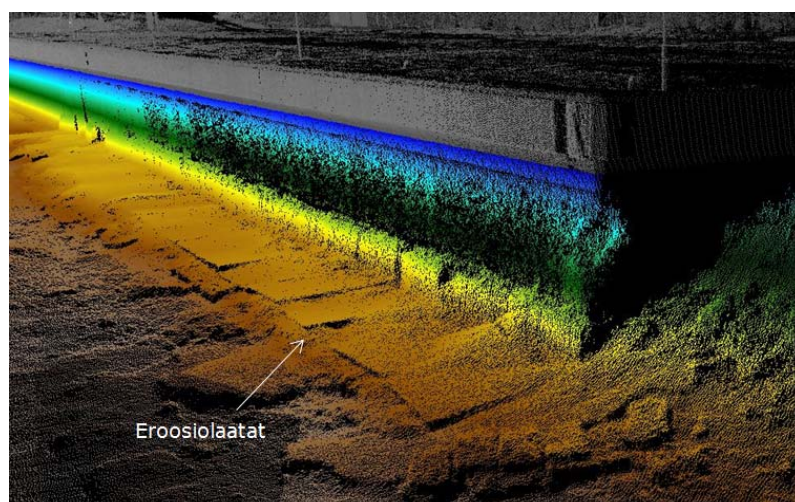
Kokemusten perusteella monikeilaus soveltuu hyvin pohjan eroosion tai sedimentoitumisen tarkasteluun. Veteen rakennettujen maaluiskien ja eroosiosuojausten tarkastelu onnistuu myös yleensä hyvin.

Kovat materiaalit kuten kivi, betoni ja teräs antavat paremman kaiun ja ovat hahmotettavissa paremmin. Puurakenteista saatava kaiku vaihtelee ja näin ollen tuloksissakin on tapauskohtaisia eroja.

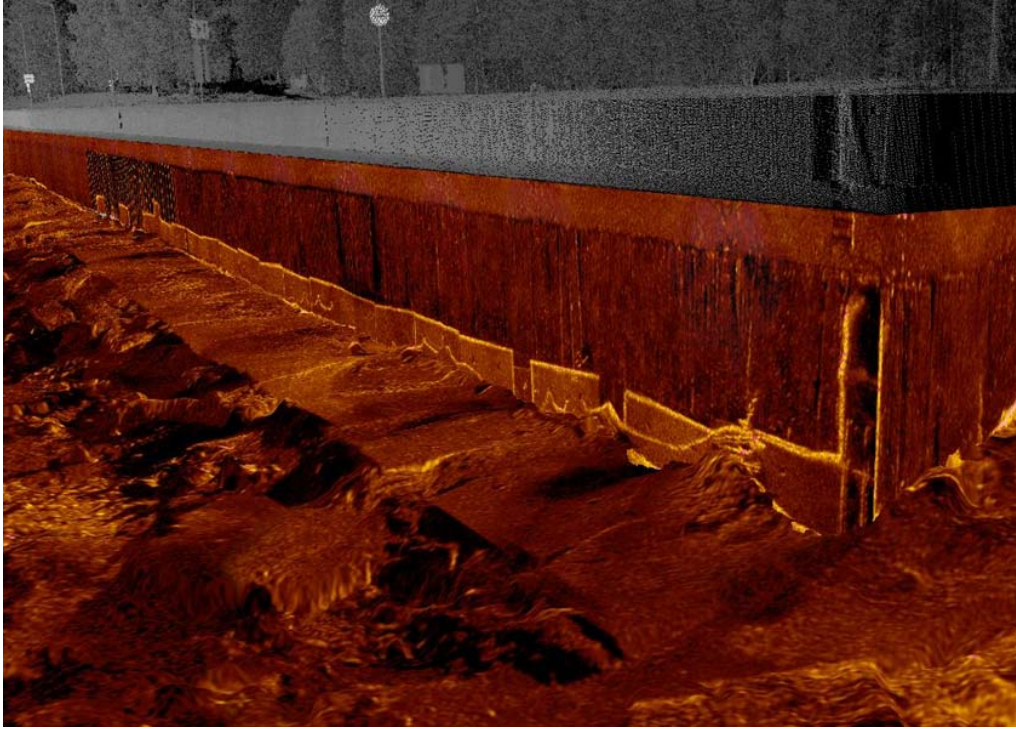
Selväpiirteisistä rakenteista saadaan parempi tulos monimutkaisiin verrattuna. Massiivisista betonirakenteista, kivimuureista ja ponttiseinistä saadaan yleensä kohtuullista mittausdataa. Varsinkin pieniläpimittaiset pilarit ja paalut ovat osoittautuneet haastaviksi. Paaluryhmistä (kuten muistakin rakenteista) jää varjo rakenteen taakse ja se voi hankaloittaa laiturin alaisen luiskan kunnon ja muodon tarkastelua.

Erikokoisten kohteiden havaitsemiseen pohjassa vaikuttaa pohjan yleinen laatu. Taaisella pohjalla hyvin pienetkin kohteet tulevat näkyviin kun taas esim. louheverhouksessa tai kivikossa suuremmat lohkareet ovat paremmin erotettavissa. Monikeilaamalla voidaan todeta laituri-/poijupainojen sijainti ja saada tietoa siitä kuinka kiinnityskettingit elävät laiturin liikkeissä.

**Sukellustarkastus** soveltuu hyvin esim. paalu- ja pilarilaiturien tarkastamiseen, sekä täydentämään muilla menetelmillä tehtyjä tarkastuksia, kun vaurioita ja niiden laajuutta halutaan tarkastella tarkemmin käsietäisyydeltä. Sukellustarkastus soveltuu hyvin myös silloin, kun rakenteesta halutaan tarkastaa onnettomuuden, esimerkiksi laivatörmäyksen, aiheuttamia yksittäisiä vaurioita.



Kuva 47. Laiturin monikeilausdatan pistepilvikuva



Kuva 48. Laiturin monikeilausdataan lisätty skannaavan laserin 2D viistokuva

## 5.6 Muut tutkimusmenetelmät

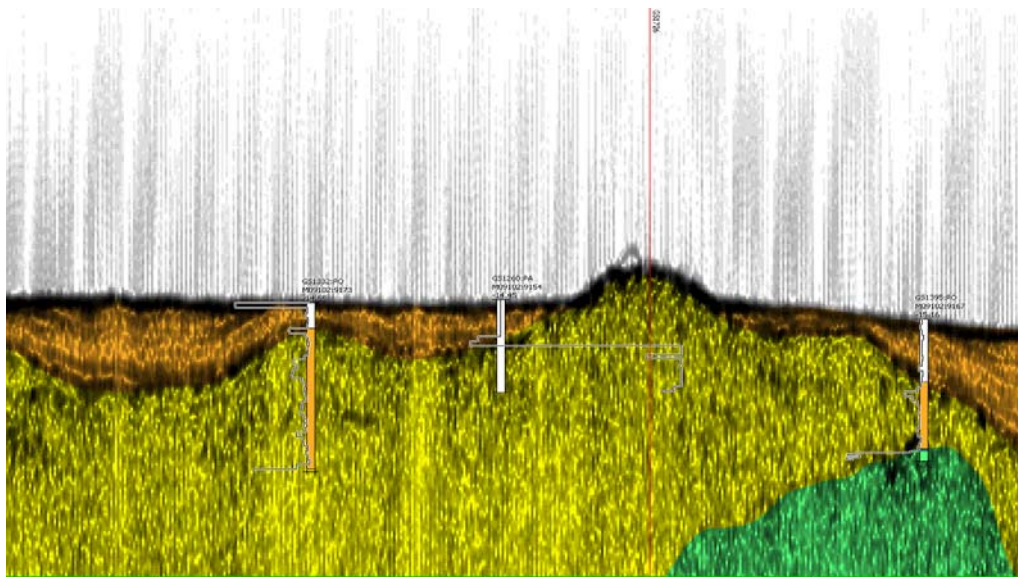
### 5.6.1 Matalataajuusluotain

**Matalataajuusluotaimia** ei käytetä varsinaisen rakenteen mittaamiseen tai tutkimiseen. Ne on kehitetty pinnan alaisten maakerrosten kartoittamiseen ja kovan pohjan kuten kallion pinnan määrittämiseen. Monikeilain ja skannaava sonar ovat korkea taajuisia mittauslaitteita ja näiden lähettämä ääni-impulssi heijastuu takaisin kohdastaan ensimmäisen esteen kuten veden pohjan tai rakenteen osan. Matalataajuusluotaimien toimintataajuus on tyypillisesti 2–30 kHz, joka mahdollistaa ääniaallon etenemisen maaperään.

Matalataajuusluotaimien tai seismisten luotaimien lähettämä matala ääni-impulssi pystyy tunkeutumaan pohjan maa-ainekseen. Periaatteessa tunkeutuma on sen parempi mitä matalampaa taajuutta käytetään. Esimerkiksi 20–30 kHz luotaimella saadaan kartoitettua pohjassa oleva päällimmäinen pehmeä maakerros jonka kaiku läpäisee palaten alemmasta kovemmasta kerroksesta takaisin voimakkaammin. Tällä tiedolla voi olla käyttöä, mikäli on epäiltävissä, että pohjan eroosiokuopat ovat täytyneet esimerkiksi virtausten mukanaan tuomalla pehmeämmällä maa-aineksella.

Vielä matalataajuisemmalla esimerkiksi alle 2 kHz luotaimella tunkeutuma pohjaan voi olla kymmeniä metrejä maalajeista riippuen ja silloin saadaan tietoa jo eri kerroksista (jaolla pehmeä-keskikova-kova). Mikäli on epäilyksiä rakenteen alaisen maaperän kantavuudesta, voidaan näillä pyrkiä selvittämään kerroksia lähellä rakennetta. Syntyneet profiilit edustavat kutakin tehtyä mittauslinjaa ja kerrosten muutokset linjojen välissä interpoloidaan.

Mittaaminen suoritetaan liikkuvasta veneestä / aluksesta. Mittaustuloksina saadaan yleensä pohjan kerrostuneisuudesta kertova profiilikuva. Aineiston tulkinnessa käytetään tukena kairanäytteitä, joiden avulla vertaillaan eri kerrosten ominaisuuksia.



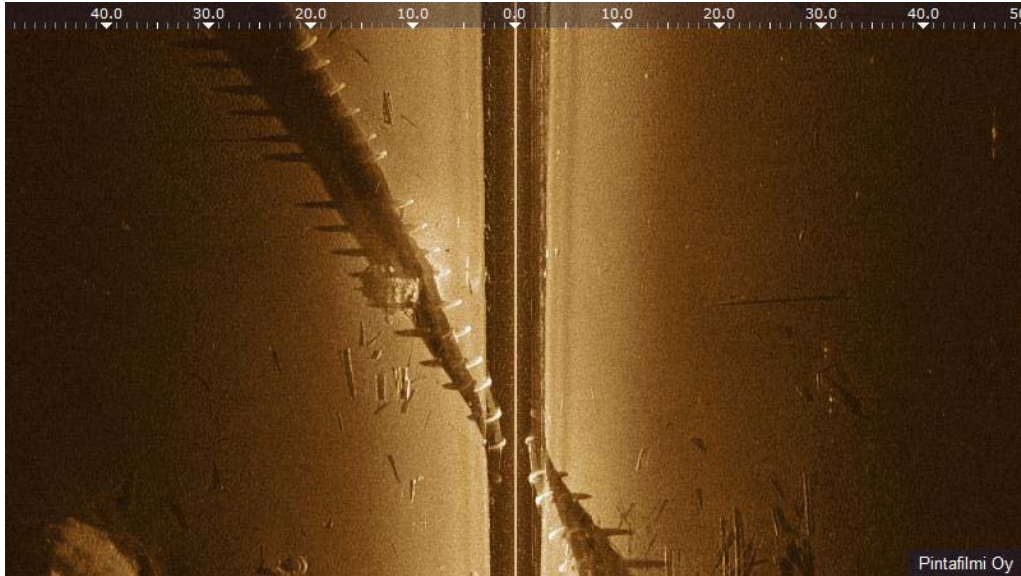
Kuva 49. Matalataajuusmittaukset ja pohjatutkimukset yhdistettynä samaan kuvaan

### 5.6.2 Viistokaikuluotain

**Viistokaikuluotain** muodostaa 2D kuvan pohjasta vastaavalla periaatteella kuin skannaava 2D kaikuluotaus. Näillä suhteellisen korkeataajuisilla useimmiten aluksen perässä vedettävillä ”kaloilla” saadaan tietoja vedenpohjan rakenteesta ja siinä mahdollisesti olevista esineistä.

Tuloksena on valokuvan tapainen vino valo/varjo kuva. Aikaisemmin näitä on käytetty esimerkiksi linjaluotauksen yhteydessä jotta on voitu arvioida onko luotauslinjojen väliin jäänyt vaikkapa kiviä. Myös meriarkeologisten kohteiden etsimisessä viistokaikuluotaimia käytetään yleisesti. Syntyvästä kuvasta voidaan myös arvioida jossain määrin pohjan kovuutta. Aivan tarkkoja sijaintitietoja ei normaalisti havaituille kohteille saada. Pohjan tutkimisessa voidaan yhdistää viistokaikumosaikki ja 3D monikeilaindata, joka antaa uusia mahdollisuuksia tulkita pohjaa. Rakennetarkastuksen yhteydessä viistokaikuluotaimen käyttö voisi tulla kyseeseen nopeana vaihtoehtona tarkistaa, ettei pohjassa ole sinne kuulumatonta tavaraa tai rakenteita. Pystyrakenteiden mittaamiseen perinteisiä viistokaikuluotaimia ei kuitenkaan käytetä





Kuva 50. Viistokaikuluotaimella kuvattu viemäriputki painoineen

### 5.6.3 ROV

**ROV (Remote Operated Vehicle)** on veden pinnalta käsin kauko-ohjattava sukellusrobotti, joka on yleensä varustettu videokameralla ja/tai kaikuluotaimilla. Isommissa ROVessa voi olla lisäksi manipulaattoreita, joilla voidaan tehdä myös erilaisia työsuorituksia.

ROVeja käytetään mm. haastavissa tarkastustöissä, joissa esimerkiksi veden syvyys vaikeuttaa olennaisesti sukeltajan toimintaa. Kohteina voivat olla esimerkiksi voimalaitokset ja vedenalaiset tunnelit. Lisäksi ROVeja voidaan käyttää esim. monikeilauksessa tai viistokaikuluotauksessa todennettujen, kiinnostavien kohteiden varmentamiseen, jolloin vedenalainen kuvaus täydentää hyvin yksityiskohtien tarkastelua.

Laitteen käyttöön vaikuttavat erityisesti veden sameus ja virtaus. Videokuvan saanti voi olla vaikeaa tai mahdotonta sameassa vedessä, tämä myös olennaisesti vaikeuttaa kohteen löytämistä. Virtaava vesi vaikeuttaa laitteiston operointia veden alla. Kohtuullisen näkyvyyden vallitessa saatava informaatio on hyödyllistä. Laajoja kartoituksia tehdään harvemmin sukellusrobotilla, mutta täsmällisien kohteiden kartoittamiseen ne soveltuvat hyvin.





Kuva 51. ROV laitteisto

#### 5.6.4 Laserkeilain ja muu täydentävä tieto veden päältä

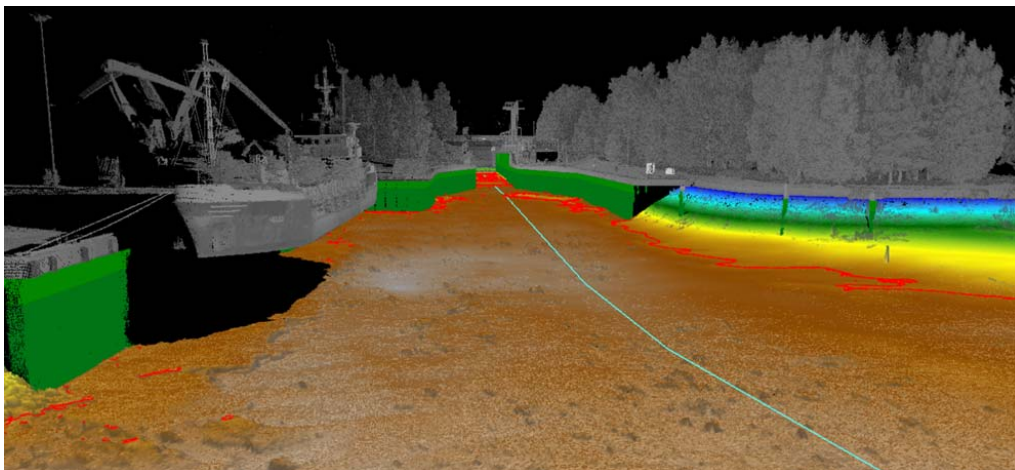
**Laserkeilaus** on hyvin suositeltava menetelmä etenkin veden vaihtelualueella ja pinnan yläpuolella sijaitsevien vaurioiden kartoittamiseen ja vaurioiden etenemisen seurantaan.

Pienempien kohteiden kuten esimerkiksi siltojen laserkeilaaminen onnistuu usein maalta perinteisellä staattisella menetelmällä, jossa laserkeilain sijaitsee mittauksen ajan esimerkiksi kolmijalan päällä. Useista mittapististä suoritettujen skannausten yhdistämisen jälkeen, käytössä on koko sillan yläpuoliset osat kattava 3D pistepilviaineisto.

Laajempien alueiden kartoittamisessa kannattaa hyödyntää mobiilimittausta. Useissa rakennetarkastuksiin suunnitelluissa monikeilausveneissä on mahdollistaa suorittaa pinnan yläpuolisten rakenteiden laserkeilaaminen suhteellisen yksinkertaisesti samalla kertaa pinnan alapuolisten osien kanssa. Tämä toimii etenkin satama- ja kanavarakenteille sekä erilaisille luiskille. Siltojen osalta joidenkin kohteiden pienet alituskorkeudet voivat aiheuttaa haastetta mittauksen suorittamiselle.

Pinnan yläpuolinen laserkeilaamalla tuotettu pistepilviaineisto voidaan yhdistää vedenalaiseen monikeilaindataan, jolloin mittausaineisto kattaa koko rakennetun ympäristön. Tarvittaessa myös valokuvat voidaan sovittaa mittausdataan ja näin muodostaa kokonaisuus rakenteen fasadista.

**3D-valokuvaus** on myös yksi tapa kartoittaa pinnan yläpuolisissa rakenteissa sijaitsevia vaurioita. Valokuvaaminen voidaan suorittaa mobiililaserkeilauksen tavoin liikuvasta veneestä automatisoimalla tunnetussa sijainnissa sijaitseva kamera ottamaan valokuvia rakenteista tasaisin väliajoin muutaman sekunnin välein. Kuvauksessa valokuvaparien avulla luodaan näkymästä kolmiulotteinen mittatarkka 3D-malli/pistepilviaineisto.



Kuva 52. Vedenalainen mittausdata täydennettynä laserkeilausdatalla

**Perinteinen valokuvaus** on edelleen hyvä ja käyttökelpoinen tapa etenkin vesirajan vaurioiden kartoittamiseen. Kuvaamalla dokumentoidut vauriot kertovat aineiston tarkastelijalle yksittäisten vaurioiden vakavuuden selkeästi. Laajojen kohteiden kuvaamisessa tulee kiinnittää huomiota yksittäisten vaurioiden sijainnin määrittämiseen kuvauksen yhteydessä. Hyvä tapa dokumentoida yksittäisiä vaurioita on ottaa esimerkiksi vaurioalueesta laajempi yleiskuva, josta selviää missä kohtaa rakennetta ollaan ja tarkempi vauriokuva, josta käy ilmi vaurion laatu. Koordinaattitietojen yhdistäminen kuviin on myös hyvä tapa vaurion sijainnin määrittämisessä.

## 6 Vauriokorjaukset

### 6.1 Yleistä

Vedenalaisten taitorakenteiden tarkastusten yhteydessä on syytä kiinnittää huomiota merkkeihin rakenteessa aikaisemmin suoritetuista korjaustoimenpiteistä koska ne antavat viitteitä mahdollisesti vaurioherkistä rakenteen osista. Havaitut korjaukset on syytä kirjata tarkastuksen yhteydessä, mikäli niitä ei ole Taitorakennerekisterissä.

Rakenteiden korjaustoimenpiteet voivat olla hoitoon liittyviä toimenpiteitä kuten; puhdistus, kunnossapito ja pienet rakenteen käyttöön ja turvallisuuteen liittyvät korjaustyöt. Ylläpitoon kuuluvia korjaustoimenpiteitä ovat yksittäisten vaurioiden korjaukset ja rakenteen peruskorjaus. Rakenteen purku ja kuntosyistä toteutettava rakenteen uusiminen ovat korvausinvestointeja.

Rakenne peruskorjataan yleensä kun sen kuntoluokka on huono. Kun kuntoluokka on erittäin huono, peruskorjaus tehdään kiireellisenä tai rakenne käytetään hallitusti loppuun. Peruskorjausta varten rakenteelle tehdään erikoistarkastus ja korjaussuunnitelma.

### 6.2 Betonirakenteet

Betonirakenteiden tyypillisiä vaurioita ovat betonin pinnan rapautuminen, raudoitteiden korroosio, halkeilu ja lohkeilu sekä valuviat. Rapautumaa on yleisesti vedenvaihtelualueella. Pinnan alla esiintyy betonin huuhtoutumista ja eroosiota työvirheistä, virtaavan veden ja jäiden kulutuksesta johtuen, eritoten siltojen virtapilareiden ja peruslaatan saumoissa.

Laajojen rapautuneiden alueiden ja raudoituksen korroosiovaurioiden yleisin korjaustapa on rakenteiden manttelointi betonilla valamalla. Rakenteet voidaan verhoilla myös happoteräsmantteleilla, joka toimii myös muottina vanhan rakenteen ja teräs-vaipan välin betonoinnissa. Paalujen korjaustyössä korjattava kohde yleensä eristetään käyttämällä paalun ympärille asennettavaa, metallilevystä tehtyä, vesitiivistä kammiota ja korjaustyöt tehdään kuivatyönä. Usein käytetään myös it-betonia vedenalaisissa valuissa.

Korjauksessa vanhan rakenteen pintaan jätetyt muotit poistetaan ja rakenne puhdistetaan. Rapautunut ja huuhtoutunut betoni poistetaan yleensä vesipiikkaamalla. Pahoja ruostuneita raudoitteita poistetaan rakenteesta ja uusitaan tarvittaessa, vanhaan rakenteeseen porataan tartunnat ja asennetaan raudoitteet sekä muotit paikoilleen. Muotit ja raudoitteet valmistetaan mahdollisimman pitkälle vedenpinnalla ja sukeltajat asentavat ne paikoilleen. Valutyö suoritetaan yleensä Contractor-menetelmällä tai it-betonilla. Muita menetelmiä ovat vyörytys ja uppobetonin käyttö.

Paikalliset betonin rapautumat, valuviat ja lohkeamat korjataan käsin laastipaikkaamalla. Halkeamat injektoidaan epoksilla tai mikrosementillä.

Harvinaisempia korjausmenetelmiä ovat teräsbetonirakenteiden katodinen suojaus, uudelleen alkalointi ja kloridien sähkökemiallinen poisto rakenteesta, joka ei sovellu hyvin vesirakenteisiin, eikä siitä ole käyttökokemusta Suomessa.



Kuva 53. *Happoteräsmantteleilla verhoillut sillan välituet*

## 6.3 Teräsrakenteet

Koska vedenalaisten teräsrakenteiden korjaaminen on yleensä hankalaa ja kallista pyritään korroosiota huomioimaan materiaalivahvuuksilla ja pintakäsittelyllä. Kun vauriot etenevät joudutaan vedenalaisiin paikkauksiin, rakenteen tukemiseen tai kokonaan uusimiseen.

Paikallinen vaurio ponttiseinässä voidaan paikata kiinnittämällä vauriokohtaan riittävän kokoinen teräslevy tai teräsbetonielementti jonka jälkeen paikan ja vanhan seinän väli injektoidaan. Rakenteessa voi myös esiintyä vedenalaisella hitsauksella kiinnitettyjä paikkoja. Vastaavasti teräsputkipaaluun voidaan asettaa mansetti vauriokohtaan ja injektoida mansetin ja vanhan paalun välinen rako.

Majakoiden teräsrakenteisia perustuksia on korjattu asettamalla vanhan vaipan päälle uusi vaippa ja injektoidamalla vaippojen väli vesitiiviiksi. Pahimmassa tapauksessa merimerkin perustus joudutaan vaihtamaan tai ponttiseinä uusimaan kokonaan esimerkiksi lyömällä uusi seinä vanhan etupuolelle ja täyttämällä väli betonilla tai muulla sopivalla materiaalilla.





Kuva 54. Teräsrakenteen korjaamista sukeltajatyönä

## 6.4 Puurakenteet

Puurakenteen vauriota ovat lahoaminen vedenvaihtelualueella, halkeilu, veden virtauksen, jäiden ja alusten törmäysten aiheuttamat kulmat sekä rakenteiden murtuminen.

Lievästi vaurioituneita puurakenteita ei korjata, vaan vauriota seurataan tulevissa tarkastuksissa. Merkittävät halkeamat injektoidaan epoksilla. Vakavasti ja erittäin vakavasti vaurioituneet kantavat puurakenteet usein tuetaan tai ne kunnostetaan vahventamalla ja suojaamalla teräslevyillä, vahventamalla rakenteeseen poratuilla ja liima-  
tuilla terästapeilla tai rakenne uusitaan kokonaan.

## 6.5 Kivirakenteet

Kivirakenteiden tyypillisiä vaurioita ovat saumausten vaurioituminen ja irtoamien, kivien halkeilu, lohkeilu, siirtyminen ja irtoaminen sekä kivirakenteiden tyhjätilat. Vakavammat vauriot rakenteelle aiheuttavat perustusten painuminen ja rakenteen ylikuormitus, jotka ilmenevät rakenteen muodonmuutoksina.

Irronneet saumaukset korjataan betonilaastilla. Lieviä kivien siirtymiä ja halkeilua ei yleensä korjata, vaan niitä seurataan tulevissa tarkastuksissa. Kiven lohjennut osa tai merkittävästi siirtynyt kivi ankkuroidaan toisiin kivihakasilla tai laastilla juotetuilla terästangoilla. Siirtynyt, painunut tai kallistunut rakenne ankkuroidaan vetotangoilla tai kallioankkureilla. Tyhjätilat täytetään usein vedenalaisiin korjauksiin soveltuvalla betonilla. Perustusten painumien ja vakavat muodonmuutokset johtavat yleensä rakenteen uusimiseen tai kokoamiseen uudelleen uusille perustuksille.



## 6.6 Eroosiosuojaukset

Eroosiosuojauksen pettäminen johtaa pahimmillaan rakenteen liikkumiseen tai sortumiseen. Tällöin joudutaan tekemään mittavampia korjaustöitä rakenteen toimivuuden palauttamiseksi tai säilyttämiseksi. Useimmiten joudutaan tekemään kokonaan uusi eroosiosuojaus.

Eroosioauriot olisi hyvä pystyä toteamaan viimeistään siinä vaiheessa kun rakenteen eroosiosuojaukset alkavat vahingoittumaan ja niiden suojauskyky alkaa laskea.

Tyypillisesti eroosiosuojausta korjataan lisäämällä siihen materiaalia jolla sitä vahvistetaan ja mahdollinen liikkuminen pyritään estämään. Usein käytetään samaa materiaalia mutta paikallisesti korjaus on voitu tehdä jollain muulla tavalla joka on havaittavissa suojauksessa. Esimerkiksi kiviheitoketta tai betonilaattoja on korvattu eroosiosuojamatolla.

Esimerkkejä eroosiosuojauksen korjauksista:

- Riittävän isokokoista kiviainesta lisätään luiskaverhoukseen.
- Luiskan alapää tuetaan esimerkiksi betonipalkein laiturirakenteen alla
- Laiturialueen pohjaan syntyneitä eroosiokuoppia täytetään riittävän karkealla kiviaineksella
- Betonisten eroosiolaattojen ulkoreunaan lisätään kivitörmä estämään eroosion etenemistä laattojen alle
- Laiturin lähialueella tehdään betonilaatta vedenalaisena betonivaluna
- Rakenteeseen lisätään suodatinkangas jonka päälle tehdään uusi eroosiosuojaus esimerkiksi kiviheitokkeesta
- Lohkareista tai kiviheitokkeesta tehdyn suojauksen onkalot täytetään esimerkiksi betonilla tai muulla sideaineella.
- Kivisten eroosiosuojausten onkaloiden täyttövalut

## Lähteet

1. Sillantarkastuskäsikirja, Liikenneviraston ohjeita 26/2013. ISBN 978-952-255-318-8.
2. Laituritarkastuskäsikirja, Liikenneviraston ohjeita 2/2010. ISBN 978-952-255-006-4
3. Kanavarakenteiden tarkastuskäsikirja, Liikenneviraston ohjeita 8/2013. ISBN 978-952-255-254-9
4. Kiinteiden merimerkkien tarkastuskäsikirja, Liikenneviraston ohjeita 19/2013. ISBN 978-952-255-279-2
5. Taitorakenteiden tarkastusohje, Liikenneviraston ohjeita 17/2013. ISSN 1798-6. ISBN 978-952-255-2
6. Hydro International 1/2016 s.30-32, Developments and trends in multibeam echo sounders
7. RIL –236, 2006, Satamalaitureiden kunnonhallinta
8. Ports designer's handbook, Second Edition, 2010, Carl A. Thoresen
9. Planning and Design of ports and marine terminals, Second Edition, 2004, Edited by Hans Agerschou
10. Guidelines for Protecting Berthing Structures from Scour Caused by Ships, PIANC Report 180-2015, Maritime Navigation Commission
11. Highway structures: Testing and inspection, DIN-1076, 1999
12. Kiinteiden merimerkkien kuormitusohjeet, Liikenneviraston ohjeita 10/2011
13. Kiinteiden merimerkkien ylläpito, Liikenneviraston ohjeita 42/2013
14. Siltojen yleistarkastusten laatuvaatimukset, Liikenneviraston ohjeita 9-2014
15. Life Cycle Management of Port Structures Recommended Practice for Implementation, PIANC Report 103-2008, Maritime Navigation Commission
16. Siltojen sukellustarkastusohje: Suunnittelu- ja toteutusvaiheen ohjaus, Tiehallinto 2009
17. Offshore-tuulivoima Perämeren jääolosuhteissa, VTT julkaisu 1998
18. Vedenalaisten Betonirakenteiden Tutkimuksen Nykytila, Kymenlaakson Ammattikorkeakoulu, Opinnäytetyö 2010, Pekka Pilli

19. Childs, K. (toim.) 2001. Underwater investigations: standard practice manual. ASCE manuals and reports on engineering practice no. 101. USA: American Society of Civil Engineers.
20. Maintenance and renovation of navigation infrastructure InCom report of WG 25 – 2006, Written by: InCom Working Group 25
21. Underwater Bridges Inspection, Report No. FHMA-NHI-10-027, June 2010, Terence M. Browne, P.E.; Thomas J. Collins, S.E., P.E.; Michael J. Garlich S.E., P.E.; John E. O’Leary, S.E., P.E.; Daniel G. Stromberg, S.E., P.E.; Katherine C. Heringhaus

## Valokuvaluettelo

Liikennevirasto, kuvat 5, 6, 10, 11, 24, 25, 52

Meritaito Oy, kuvat 7, 12, 13, 14, 17, 21, 22, 26, 27, 29, 31, 32, 33, 34, 39, 41, 42, 43, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 53

VRT Finland Oy, kuvat 1, 2, 3, 8, 15, 18, 19, 23, 28, 30, 35, 36, 37, 38, 40

WSP Finland Oy, kuvat 4, 9, 16, 20, 44, 45



ISSN-L 1798-663X  
ISSN 1798-6648  
ISBN 978-952-317-293-7  
[www.liikennevirasto.fi](http://www.liikennevirasto.fi)

Liik  
enne  
vira  
sto



# Tämä asiakirja on allekirjoitettu

Lista allekirjoittajista

Allekirjoittaja

Todennus